



ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA



EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE SUELOS EN LLANURAS DE PIEDEMORTE, MEDIANTE INDICADORES E INDICES, EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE QUINUA (S.O. de Bolivia)

Miguel Murillo Illanes, Eduardo Carvajal Rodríguez, Edwin Chacolla Arias ¹

RESUMEN

El avance de la frontera agrícola en áreas semiáridas - áridas, requiere realizar evaluaciones del estado del sistema suelo de manera continua y mejor mediante el uso de indicadores. El objetivo del trabajo fue desarrollar y aplicar un set mínimo de indicadores del estado del suelo para evaluar su calidad en agroecosistemas con Entisoles, Inceptisoles y Aridisoles. La metodología se probó en suelos de Llanuras de piedemonte, de los Sub grupos: Typic Ustipsamments, Aridic Ustipsamments, Typic Torripsamments, Typic Quartzipsamments, Typic Ustorthents, Aridic Ustorthents, Aridic Quartzipsamments, Lithic Torriorthents; Typic Haplustepts, Typic Eutrochrepts; Typic Camborthids, Typic Calciorthids, Typic Haplosalids; y todos con diferentes sistemas de uso y manejo, ubicados en el Sur Oeste de Bolivia, área de producción de quinua (*Chenopodium quinoa*, Wild). A las variables medidas (espesor del horizonte A, densidad aparente, agua disponible, pH, conductividad eléctrica, porcentaje de sodio intercambiable, carbono total y bases intercambiables) se les establecieron rangos de calidad a partir de los cuales se normalizaron los indicadores. Los indicadores seleccionados son un número mínimo de variables con alto grado de agregación, fáciles de medir, repetibles, representan las condiciones locales; y fueron elegidos en función del tipo de ambiente, de los suelos de la región en estudio y de la información disponible.

Palabras clave. Indicadores, valores normalizados, Propiedades físicas y químicas.

EVALUATION OF SOIL QUALITY IN PIEDEMONT PLANIS, THROUGH THE USE OF INDICATORS AND INDICES, IN THE AREA OF PRODUCCION QUINUA (SW BOLIVIA)

ABSTRACT

The advance of the agricultural frontier in semi-arid areas - arid, requires the state assessments of the soil and improved continuously by using indicators. The aim of this paper was to develop and apply a minimum set of indicators of the state of the resource to assess soil quality in agroecosystems with Entisols, Inceptisols and Aridisols. The methodology was tested in soils of piedmont plains of the Sub groups: Typic Ustipsamments, Aridic Ustipsamments, Typic Torripsamments, Typic Quartzipsamments, Typic Ustorthents, Aridic Ustorthents, Aridic Quartzipsamments, Lithic Torriorthents; Typic Haplustepts, Typic Eutrochrepts; Typic Camborthids, Typic Calciorthids, Typic Haplosalids; and all with different use and management systems located in the southwest of Bolivia, the area of production of quinoa (*Chenopodium quinoa*, Wild). A measured variables (A horizon thickness, bulk density, water available, pH, electrical conductivity, exchangeable sodium percentage, total carbon and exchangeable bases) were established quality ranges from which the indicators were normalized. The selected indicators are a minimal number of variables with a high degree of aggregation, measurable, repeatable, account local conditions, and were chosen according to the type of environment, soil of the region under study and information available.

Key words. Indicators, normalized values, physical and chemical properties.

INTRODUCCIÓN

Es importante evaluar la calidad y el estado del recurso suelo, debido a que es el factor principal para la producción de alimentos, fibras y energía; así como para el mantenimiento de la calidad ambiental (Doran & Zeiss, 2000; Gil-Sotres *et al.*, 2005). La calidad de muchos de los suelos

¹ Unidad de Información Estudios y Políticas de Desarrollo Rural Sostenible. Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras. Av. Camacho 1471, La Paz, Bolivia. Email: murilloillanes@gmail.com; edcaro2002@yahoo.com. edwin_chacolla@yahoo.com.

agrícolas en Bolivia ha disminuido, debido a procesos de agriculturización, uso de inadecuadas prácticas y abandono de sistemas de producción (Murillo, 2003). Estos procesos, conducen al deterioro de la estructura del suelo y a la reducción en el nivel de materia orgánica, con una marcada disminución de la fertilidad química y física del suelo (Salinas-García *et al.*, 1997).

El uso sustentable de los suelos destinados a actividades agropecuarias, requiere conservar y mejorar propiedades edáficas que son importantes desde el punto de vista de la fertilidad y el laboreo del suelo (Bezdicsek *et al.*, 1996). Los sistemas de manejo sustentables para los suelos agrícolas, generalmente se basan en prácticas de manejo conservacionistas tales como la labranza reducida, la incorporación de materia orgánica y la rotación de cultivos (Pankhurst *et al.*, 1996). La implementación de sistemas conservacionistas, puede mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos puesto que contribuyen, en general, a mantener o incrementar el nivel de carbono orgánico del suelo (Franzluebbers *et al.*, 1999; Dexter, 2004). Sin embargo, en algunas situaciones pueden también conducir a un exceso de compactación (Schjønning & Rasmussen, 2000; Ferreras *et al.*, 2000; Fabrizzi *et al.*, 2005). El resultado final de implementar estos sistemas de labranza depende de diversos factores tales como tipo de suelo, condiciones climáticas y sistemas de manejos previos (Ferreras *et al.*, 2000).

La alteración de las condiciones del suelo por las prácticas de manejo puede afectar la producción de los cultivos, por un lado, a través de su influencia en la distribución de la materia orgánica, actividad microbiana y dinámica de nutrientes; y, por otro lado, modificando propiedades físicas del suelo como agregación y porosidad (Salinas-García *et al.*, 1997; Díaz Zorita *et al.*, 2002).

La calidad física de los suelos se refiere fundamentalmente a parámetros como la resistencia mecánica, la transmisión y el almacenaje de agua (Topp *et al.*, 1997). Suelos con buena calidad física deben tener características de almacenaje y transmisión de fluidos que permitan proporciones adecuadas de agua, nutrientes disueltos y aire como para promover el máximo desarrollo de los cultivos y una mínima degradación ambiental. Esta condición puede ser estimada a través de la estabilidad de la estructura, debido a que este parámetro gobierna tanto los aspectos relacionados con la compactación, como los vinculados con el almacenaje y movimiento de agua y aire (Reynolds *et al.*, 2002; Dexter, 2004). Sin embargo, identificar valores óptimos de parámetros tales como la densidad aparente, la porosidad, el contenido de carbono orgánico y la capacidad de retención de agua del suelo, pueden también ayudar a determinar la calidad física del suelo (Reynolds *et al.*, 2002).

Por otra parte, la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Ambiente y el Desarrollo Río '92, estableció la necesidad de desarrollar y aplicar metodologías para determinar el estado del ambiente y monitorear los cambios ocurridos a nivel local, nacional, regional y global. La determinación de estos cambios podría ayudar a realizar una mejor evaluación de las dimensiones de los diferentes problemas ambientales, identificar y evaluar los resultados de la aplicación de las convenciones internacionales y los programas de acción, como así también, orientar las políticas nacionales. La aplicación del Capítulo 40 de la Agenda 21 condujo al desarrollo de diversas metodologías que determinaron el uso generalizado de indicadores e índices para la evaluación de la calidad ambiental, calidad de suelos, sustentabilidad, desarrollo sustentable, riesgo, vulnerabilidad, planificación territorial, entre otros. El antecedente más importante surgió de la Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD, 1991) cuando publicó un set preliminar de indicadores ambientales. Posteriormente, otras organizaciones han desarrollado programas donde se establecieron listas de indicadores para evaluar la calidad ambiental, tales como, FAO, Banco Mundial, UN Development Program, UN Environmental Program.

En la ciencia del suelo, Blum & Santelises (1994) describieron el concepto de sustentabilidad y resiliencia del suelo basado en seis funciones ecológicas y humanas: el suelo como productor de biomasa; el suelo como reactor con filtros; el suelo como buffer y como transformador de materia para proteger el ambiente, el agua subterránea y la cadena de alimentos de la contaminación; el suelo como hábitat biológico y reserva genética; el suelo como medio físico y el suelo como fuente de recursos y de herencia cultural. Estos conceptos y los sugeridos por Warkentin (1996) fueron las bases a partir de las cuales la Soil Science Society of America estableció el concepto de calidad del suelo (Karlen *et al.*, 1996). Doran & Parkin (1994, 1996) y Doran *et al.* (1996) establecieron indicadores cuantitativos de calidad del suelo a partir de estos conceptos.

Un indicador es una variable que resume o simplifica información relevante haciendo que un fenómeno o condición de interés se haga perceptible y que cuantifica, mide y comunica, en forma comprensible, información relevante. Los indicadores deben ser preferiblemente variables cuantitativas, aunque pueden ser cualitativas o nominales o de rango u ordinales, especialmente cuando no hay disponibilidad de información cuantitativa, o el atributo no es cuantificable, o cuando los costos para cuantificar son demasiado elevados. Las principales funciones de los indicadores son: evaluar condiciones o tendencias, comparar transversalmente sitios o situaciones, para evaluar metas y objetivos, proveer información preventiva temprana y anticipar condiciones y tendencias futuras (Murillo, 2010).

Los indicadores deben ser: limitados en número y manejables por diversos tipos de usuarios; sencillos, fáciles de medir y tener un alto grado de agregación, es decir, deben ser propiedades que resuman otras cualidades o propiedades; interdisciplinarios; en lo posible deberán contemplar la mayor diversidad de situaciones por lo tanto incluir todo tipo de propiedades de los suelos (químicas, físicas, biológicas, etc.); tener una variación en el tiempo tal que sea posible realizar un seguimiento de las mismas, asimismo, no deberán poseer una sensibilidad alta a los cambios climáticos y/o ambientales pero la suficiente como para detectar los cambios producidos por el uso y manejo de los recursos (Gallopín, 1997; Doran & Parkin, 1996; Doran & Zeiss, 2000).

Segnestam (2002) a partir de la experiencia realizada por el Banco Mundial señaló la importancia de establecer: la línea de base (baseline) o de inicio de una actividad que puede impactar positiva o negativamente sobre el ambiente; umbrales (thresholds) para controlar o hacer el seguimiento de impactos negativos que no deben exceder un predeterminado umbral y además objetivos o metas (targets) que permitan evaluar si el impacto positivo de una respuesta es suficientemente largo.

Se han desarrollado listas de indicadores de uso "universal" pensando en todas las situaciones posibles y todos los suelos posibles (Doran & Parkin, 1994, 1996). Por otra parte, se han presentado listas pensadas para situaciones regionales o locales (Brejda *et al.*, 2000; Cantú *et al.*, 2007; Lilburne *et al.*, 2004). Segnestam (2002) señaló la conveniencia de utilizar indicadores locales para evaluar a nivel de escala mayor (regiones, provincias, municipios).

En el Sur Oeste de la Provincia de Córdoba – Argentina, se desarrolló y aplicó un Índice de Calidad Ambiental mediante la agregación de indicadores utilizando el modelo PSR, Presión, Estado y Respuesta (Cantú *et al.*, 2003). Además, se evaluaron parámetros del suelo como potenciales indicadores de calidad aplicando el modelo PSR e incorporando un modelo que contempla las funciones del suelo (fuente de recursos y sumidero de residuos) (Cantú *et al.*, 2001; Cantú *et al.*, 2002). De lo anteriormente expuesto se desprende la necesidad de contar con un set mínimo de indicadores de calidad de suelos para la región productora de quinua, de simple medición y con validez local, que pueda ser utilizado por agencias gubernamentales y responsables del manejo del suelo en la evaluación y seguimiento en el tiempo de la calidad de este recurso.

Por estas implicancias, el objetivo del trabajo fue evaluar mediante indicadores e índices, la calidad física y química de los suelos en Llanuras de Piedemonte de la Región Sur Oeste de Bolivia, que están bajo sistemas de producción de quinua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El trabajo fue realizado en la parte Sur Oeste de la Región del Altiplano boliviano (68° 43' a 66° 39' O y 18° 54' a 21° 35' S), de aproximadamente 37.200 km², cubierta en buena parte por el Salar de Uyuni (+6.500 km²), formando parte de la sub cuenca endorreica con un altitud promedio de 3.600 msnm (ver anexo). Presenta un clima semiárido – árido. Según Molina (2007), la precipitación varía de 150 a 350 mm/año de Oeste hacia el Este, registrada de Noviembre a Marzo. Observándose anomalías anuales respecto de la media. La temperatura media anual varía de 5,5 °C (S.P. Lipez), 9,6 °C (Colcha K) y 8,1 °C (Uyuni). La evaporación anual es de 692 mm (tanque evaporímetro - Uyuni), mientras que la ETP para Uyuni es 1439 mm y para Colcha K 1.454 mm

(Pennman). La humedad relativa promedio anual varía entre 38 % (Colcha K) a 40 % (Uyuni); la velocidad del viento promedio anual entre 2 m/s (Colcha K) y 2,4 (Uyuni). El número de horas sol en promedio es de 8,5 (Uyuni).

Geomorfológicamente, el área está dominada por procesos Volcánicos y Fluvioacustre. Según FAUTAPO (2008), Las geoformas Fluvioacustres, presentan suelos con muy baja cobertura vegetal, están afectadas de forma fuerte a grave por la 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

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 añahuaya 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.

Según Murillo y Chacolla (2009), Los suelos ubicados en Llanuras de piedemonte, se caracterizan por tener texturas moderadamente gruesas a gruesas y ocasionalmente moderadamente finas a finas. En estas unidades, el primer horizonte es moderadamente profundo, varía entre 12 a 36 cm. La Relación de Bouyoucos varía de 1,7 % para suelos con mayor contenido de arcilla, hasta 14,4 % en suelos con mayor contenido de arena

Respecto al Test de Chepil, Murillo y Chacolla (2009) mencionan: En suelos de texturas gruesas, cuando los porcentajes de limo varía entre 8 y 14 %, la arena sobrepasa el 80 % y la arcilla no pasa el 10 %, las pérdidas estimadas del suelo alcanzan a 83 tn/ha/año; cuando el limo es del 6 y 8 % las pérdidas alcanzan a 139 tn/ha/año (suelos arenoso francos). Cuando el porcentaje de limo se reduce al 3 %, las pérdidas aumentan a 486 tn/ha/año; y cuando el limo se reduce al 1 % las pérdidas estimadas suben hasta 747 tn/ha/año (suelos arenosos). En todos los casos la capacidad de campo varía entre 14 a 16 %. En suelos franco arenosos, cuando el limo es del 20 % y la capacidad de campo (CC) en promedio del 20 %, las pérdidas estimadas varían de 8 a 16 tn/ha/año; y aumentan hasta 55 tn/ha/año cuando el limo se reduce al 10 %; mientras que CC varía entre 17 a 20%. Mientras que en suelos de texturas moderadamente finas y finas, cuando el limo esta próximo al 16 % y la CC entre 26 %, las pérdidas estimadas tienen un promedio de 25 tn/ha/año (suelos franco arcilloso). Las pérdidas alcanzan a 3 y 11 tn/ha/año cuando el limo es del 45 y 24 % y la CC de campo varía entre 23 a 28 % respectivamente (suelos francos). Las pérdidas del suelo aumentan hasta 3.514 tn/ha/año cuando el limo se reduce al 1 %, la arcilla aumenta hasta 31% y la CC al 29 % (suelos arcillo arenosos), aspecto expresado por Quirantes (1987). En este último caso, asumen los autores por defecto de la formula, una pérdida nominal de más de 360 tn/ha/año para suelos arcillo arenosos.

Muestreo

En el área se ha evidenciado en los últimos tres años, un paulatino crecimiento de la frontera agrícola del cultivo de quinua, proceso que se está dando con énfasis en las Llanuras de piedemonte, aplicándose sistemas de labranza convencional, con el uso de arados de disco, labranzas sin rastrojo y descansos de suelos sin cobertura (UIEPDRS, 2010).

En estas áreas, se han identificado 36 Unidades de terreno, correspondientes a 13 Sub grupos de los Ordenes Entisoles, Inceptisoles y Aridisoles, cuyas características generales se muestran en la Tabla N° 1.

Tabla N° 1. Aspectos Generales de los Suelos de Llanuras de Piedemonte

Unidad	Altitud promedio (msnm)	Pendiente general	Uso principal	Clase taxonómica dominante	Texturas dominantes en suelos, cobertura vegetal y erosión
Llanuras de piedemonte	3.930 – 4.020	1 – 9 %	Quinua	Entisoles, Inceptisoles y Aridisoles	Arenosos Muy escasa cobertura Erosión eólica

Los 13 Sub grupos taxonómicos identificados por FAUTAPO (2008), son: Typic Ustipsamments, Aridic Ustipsamments, Typic Torripsamments, Typic Quartzipsamments, Typic Ustorthents, Aridic Ustorthents, Aridic Quartzipsamments, Lithic Torriorthents; Typiv Haplustepts, Typic Eutrochrepts; Typic Camborthids, Typic Calciorthids, Typic Haplosalids; de los cuales se describen algunas de sus características a continuación y en resumen en la Tabla N° 2.

Entre los Entisoles, han sido identificados los siguientes Sub Grupos:

Typic Ustipsamments, (Unidad de Terreno N° 4, Perfil N° 363); Nombre: Llanura de piedemonte de Quillacas



Localización: Llanura de Piedemonte alrededor de la colina de Quillacas, en la parte Norte del área de estudio.

Cobertura y/o Uso Actual de la Tierra: Gramínea baja, con sinusia arbustiva baja, donde las especies más representativas son la paja brava (*Stipafrígida*), las tholas (*Parastrephia sp.* y otras) y la yareta (*Azorella compacta*). La principal actividad agrícola es el cultivo de la quinua, donde el pastoreo se limita al consumo del rastrojo de la quinua y a la poca vegetación natural que queda. La preparación de terreno es mecanizada, la tecnología es tradicional con poca aplicación de fertilizantes químicos.

Problemas detectados: Suelos con procesos erosivos por acción eólica y en menor proporción por erosión hídrica; se observan pequeños surcos. Otro problema identificado es la poca cubierta vegetal por la habilitación de terrenos agrícolas.

Características de los suelos: Unidad sobre una elevación promedio de 3.930 msnm., con pendientes ligeramente inclinadas a inclinadas (3 a 8 %), el microrelieve es de una superficie inclinada, la materia orgánica es fíbrica, el drenaje superficial es bueno y el interno es moderadamente rápido. Los suelos son moderadamente profundos, el color en húmedo es pardo amarillento oscuro y es homogéneo en todo el perfil; la textura es arenosa franca en la capa superior y arenosa en el subsuelo; la estructura está formada por bloques sub angulares muy débiles, de tamaño fino a medio en el horizonte superior y bloques sub angulares muy débiles a grano simple, finos a medios y finos en los horizontes inferiores; consistencia muy friable en húmedo y no adherente y no plástico en mojado en la capa superior, suelto en húmedo, no adherente y no plástico en mojado en el subsuelo; pocos fragmentos, finos a gruesos de material ígneo (basalto) ligeramente meteorizado. El pH es neutro a ligeramente alcalino; la C.E. es baja, la M.O. es baja, el P y Na son de contenido moderado.

Typic Ustipsamments (Unidad de Terreno N° 45, Perfil N° 353); Nombre: Llanura de piedemonte, moderadamente disectada de San Pedro de Quemes



Localización: Ubicada alrededor de la comunidad San Pedro de Quemes; comprende una llanura de piedemonte moderadamente disectada, con pendientes planas a ligeramente inclinadas.

Cobertura y/o Uso Actual de la Tierra: Matorral siempre verde, semideciduo, andino. Las especies más representativas, son las tholas (*Parastrephia sp.* y otras) y paja brava. Existe una importante superficie empleada en la actividad agrícola especialmente el cultivo de quinua, también se destinan al pastoreo extensivo de camélidos; la preparación de terreno es mecanizada, la tecnología es tradicional con poca aplicación de fertilizantes químicos.

Problemas detectados: Procesos erosivos por acción eólica, presencia de fragmentos gruesos en la superficie; la cubierta vegetal es escasa por acción antrópica y de la ganadería camélica.

Características de los suelos: Unidad situada en promedio a 3.990 msnm, con pendientes que fluctúan de 0 a 5 %, el microrelieve es de una superficie plana, la materia orgánica es fíbrica, el drenaje superficial es lento y el drenaje interno es rápido. La profundidad efectiva de los suelos es moderadamente profunda (50 – 100 cm.) y de las raíces es superficial (30 – 50 cm.) con comunes

(5 – 15%) y muchos (15 – 40 %) fragmentos; el color en húmedo es pardo amarillento oscuro en la capa arable y en el subsuelo pardo amarillento, la textura es arenosa francosa en todo el perfil, estructura es bloques sub angulares, débiles a muy débiles, finos y medios; muy friable en húmedo; ligeramente adherente a no adherente y no plástico. El pH del suelo varía de neutro a moderadamente alcalino, no se observan signos de salinidad, la C.E. da valores bajos, los niveles de M.O. y de N son muy bajos, el contenido de K es muy alto y P es moderado a bajo; el Na es moderado a bajo.

Typic Ustipsamments (Unidad de Terreno N° 84, Perfil N°361); Nombre: Llanura de piedemonte Marca Vinto – Alianza.



Localización: Ubicada al Norte del Salar de Uyuni; está en la parte baja del volcán Tunupa y al sud de la población de Salinas de Garci Mendoza. Las comunidades de referencia son Marca Vinto, Alianza.

Cobertura y/o Uso Actual de la Tierra: Matorral enano, siempre verde y en menor proporción herbáceo de gramíneas bajas. Las especies más representativas son las tholas (*Parastrephia sp.* y otras), añanhuaya (*Adesmia miraflorensis*) y paja brava (*Stipa frígida*). La principal actividad es la ganadería, con pastoreo extensivo de camélidos. Otra actividad importante es la agricultura, especialmente cultivo de quinua, la preparación de terreno es mecanizada, la tecnología es tradicional con poca aplicación de fertilizantes químicos.

Problemas detectados: Por la pérdida de la cobertura vegetal a causa de la habilitación de tierras agrícolas y el pastoreo, se observan procesos severos erosivos por acción hídrica y erosión eólica, se observan surcos y cárcavas. En los suelos sin vegetación la superficie está cubierta por gravas y piedras, porque el suelo suelto es arrastrado por el viento.

Características de los suelos: Unidad sobre los 3.970 msnm en promedio, con pendientes que fluctúan de 2 a 8%; el microrelieve es de superficie plana; el drenaje superficial es lento en las partes planas y rápidas en las inclinadas, el interno es moderadamente rápido a rápido. Los suelos son poco a moderadamente profundos, el color en húmedo es homogéneo en todo el perfil es pardo amarillento oscuro; fragmentos comunes en todo el perfil; la textura es arenosa franca la capa superior, arenosa las capas inferiores; la estructura bloques sub angulares y grano simple, finos; consistencia suelto en húmedo y en seco, no adherente y no plástico en mojado. El pH es fuertemente alcalino; alta C.E., baja M.O., alto P, Ca y Mg, bajo Na.

Aridic Ustipsamments (Unidad de Terreno N° 25, Perfil N° 350); Nombre: Llanura de piedemonte de Rodeo - Villa Alota



Localización: Al extremo Sud Este del área de estudio, donde la población de referencia es Villa Alota. Abarca la parte Norte del río Alota.

Cobertura y/o Uso Actual de la Tierra: Matorral siempre verde, semideciduo, andino. Las especies más representativas son las tholas (*Parastrephia sp.* y otras) y añanhuaya (*Adesmia miraflorensis*), con sinusia de paja brava (*Stipa frígida*). Aproximadamente un 30 % de la superficie destinan a la actividad agrícola del cultivo de quinua; la principal actividad es la ganadería extensiva con pastoreo extensivo de camélidos, la preparación del terreno es manual y mecanizada, la tecnología es tradicional con poca aplicación de fertilizantes químicos. Las variedades de quinua son criollas, como la real.

Problemas detectados: Los suelos presentan procesos erosivos por acción hídrica y eólica; en la parte superior del piedemonte se observan surcos y cárcavas; en las partes bajas, especialmente donde no existe cobertura vegetal ya se presentan pequeñas dunas. En esta unidad no se realiza ninguna práctica de conservación de suelos.

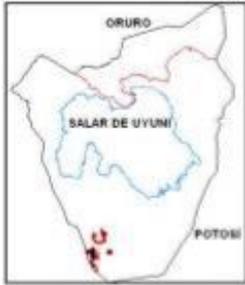
Características de los suelos: Unidad ubicada en promedio sobre 4.020 msnm., con pendientes que fluctúan de 3 a 9 %, pedregosidad común en la superficie; el microrelieve es de superficie plana, la materia orgánica es fibrica, el drenaje superficial es lento y el interno es rápido. La profundidad efectiva de los suelos y raíces es moderadamente profunda. Los suelos son moderadamente profundos, el color en húmedo es homogéneo en todo el perfil es pardo amarillento oscuro; la textura es arenosa franca en el horizonte superior y arenosa en la capa inferior; la estructura es de bloques sub angulares, muy débiles, finos y medios en la capa superior, grano simple, muy finos a finos en el subsuelo; consistencia muy friable en húmedo, no adherente y no plástico en mojado en el horizonte superior, suelto en húmedo, no adherente y no plástico en mojado en el horizonte inferior; los fragmentos son comunes en la capa superior y

muchos en el subsuelo. El pH es ligeramente alcalino; la C.E. es baja; la M.O. es baja; el P y K son moderados; el Ca, Mg y Na son bajos.

Aridic Ustipsamments (Unidad de Terreno N° 38, Perfil N° 350) Nombre: Llanura de piedemonte, moderadamente disectada de Alto Copacabana

Localización: Al Sud Oeste en el área de estudio, cerca de Copacabana y Alto Copacabana.

Cobertura y/o Uso Actual de la Tierra: Matorrales siempre verdes, semidecíduos, andinos y herbáceos, gramíneas bajas. Las especies más representativas son las tholas (*Parastrephia sp.* y otras) y en menor proporción añanhuaya (*Adesmia miraflorensis*), paja brava (*Stipa frígida*). Existe

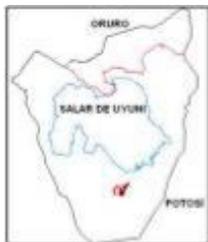


poca superficie destinada a la actividad agrícola especialmente cultivo de quinua, mayormente se destinan a pastoreo extensivo de camélidos, la preparación de terreno es mecanizada, la tecnología es tradicional con poca aplicación de fertilizantes químicos.

Problemas detectados: Suelos con procesos erosivos por acción hídrica y en menor proporción la erosión eólica, por la actividad agrícola en pendientes inclinadas se están causando erosión en surcos y cárcavas.

Características de los suelos: Unidad situada en promedio a 4.400 msnm., con pendientes que fluctúa de 3 a 12 %, el microrelieve es de superficie ondulada e inclinada, la materia orgánica es fíbrica, el drenaje superficial es rápido y el interno es moderadamente rápido. La profundidad efectiva de los suelos y raíces es moderadamente profunda. Los suelos son moderadamente profundos, el color en húmedo es homogéneo en todo el perfil es pardo amarillento oscuro; la textura es arenosa franca en el horizonte superior y arenosa en la capa inferior; estructura bloques sub angulares, muy débiles, finos y medios en la capa superior, grano simple, muy finos a finos en el subsuelo; consistencia muy friable en húmedo, no adherente y no plástico en mojado en el horizonte superior, suelto en húmedo, no adherente y no plástico en mojado en el horizonte inferior; fragmentos comunes en la capa superior y muchos en el subsuelo. El pH es ligeramente alcalino; la C.E. es baja; la M.O. baja; el P y K moderados; el Ca, Mg y Na bajos.

Aridic Ustipsamments (Unidad de Terreno N° 54, Perfil N° 351); Nombre: Llanura de piedemonte de Julaca



Localización: En la comunidad de Julaca.

Cobertura y/o Uso Actual de la Tierra: Matorral siempre verde, semidecíduo, andino. Las especies más representativa son las tholas (*Parastrephia sp.* y otras) de buen tamaño (>1.5m). Existe una importante superficie destinada a la actividad agrícola especialmente cultivo de quinua, aunque mayormente se destinan a pastoreo extensivo de camélidos, la preparación de terreno es mecanizada, con reducida aplicación de fertilizantes químicos.

Problemas detectados: Suelos con procesos erosivos por acción del viento; poca cubierta vegetal por acción antrópica y de la ganadería camélida.

Características de los suelos: Unidad que en promedio se encuentra a 3.940 msnm., con pendientes que fluctúan de 1 a 5 %; el microrelieve es de una superficie plana, la materia orgánica es fíbrica, el drenaje superficial es lento y el drenaje interno es rápido. La profundidad efectiva de los suelos es moderadamente profunda (50 -100 cm.) con pocos (2 -5%) fragmentos; el color en húmedo es pardo amarillento claro, la textura es arcillo arenosa, estructura en bloques sub angulares y angulares, débiles a moderados, finos y medios; ligeramente duro en seco, friable en húmedo; adherente y ligeramente plástico a plástico. El pH es fuertemente alcalino, no se observan signos de salinidad, la C.E. es baja, los niveles de M.O. y N son muy bajos, el contenido de K es muy alto y P es bajo; el Na y Ca son altos.

Typic Torripsamments (Unidad de Terreno N° 75, Perfil N° 1219); Nombre: Llanura de piedemonte de Chorcasa - Palaya



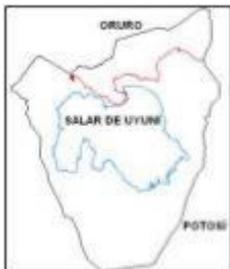
Localización: Ubicada entre las comunidades de Chorcasa y Palaya.

Cobertura y/o Uso Actual de la Tierra: Matorral enano, siempre verde, plantas pulvinadas. Las especies más representativas son las tholas (*Parastrephia sp.* y otras) y paja brava. Existe grandes superficies destinadas a la actividad agrícola especialmente cultivo de quinua, la preparación de terreno es mecanizada, con poca aplicación de abonos y fertilizantes.

Problemas detectados: Suelos muy frágiles al uso de maquinaria agrícola, procesos erosivos por acción hídrica y eólica, poca cobertura vegetal.

Características de los suelos: Unidad que en promedio se sitúa a 3.950 msnm, con pendientes que fluctúan de 1 a 3 %, microrelieve con pequeñas ondulaciones, la M.O. es fibríca, el drenaje superficial es moderadamente rápido y el interno es rápido. Los suelos son moderadamente profundos (50 – 100 cm.), con presencia de fragmentos muy comunes (5 – 15 %); el color en húmedo en la capa arable es pardo amarillento y en los horizontes inferior es pardo amarillento oscuro; la textura en el horizonte superior es arena francosa y en los inferiores es arenosa; su estructura es de bloques sub angulares muy débil, grueso, blando en seco, muy friable en húmedo no adherente no plástico en la capa arable y en el subsuelo es grano simple, suelto en seco y húmedo, no adherente, no plástico. El pH es neutro, no se observan signos de salinidad, la C. E. es baja, los niveles de M.O., N y K son muy bajos, el contenido de P es bajo.

Typic Torripsamments (Unidad de Terreno N° 108, Perfil N° 1220); Nombre: Llanura de piedemonte de Tres Cruces - Vilque



Localización: Ubicada entre las comunidades de Tres Cruces y Villque.

Cobertura y/o Uso Actual de la Tierra: Matorral siempre verde, semideciduo, andino Las especies más representativas son las tholas (*Parastrephia sp.* y otras) y paja brava. Existe una importante superficie destinada a la actividad agrícola especialmente cultivo de quinua de forma mecanizada.

Problemas detectados: Suelos con procesos erosivos por acción hídrica y eólica fundamentalmente en las áreas de cultivo, llegando a enterrarse con arena y posterior muerte de las plantas de quinua que recién emergen. Expansión de áreas de cultivo de quinua, destrucción de cobertura vegetal.

Características de los suelos: Unidad situada en promedio a 4.025 msnm., con pendientes que fluctúan de 1 a 4%, el microrelieve superficie casi plana, la M.O. es fibríca, el drenaje superficial es rápido y el interno es rápido. Los suelos son profundos (100 – 150 cm.), con presencia de fragmentos muy pocos (0 – 2 %); el color en húmedo en la capa arable y en los horizontes inferiores es pardo fuerte; la textura en la capa arable es arena francoso y en el horizonte inferior arena, la estructura es grano simple suelto; suelto en seco y en húmedo no adherente no plástico en el horizonte inferior la estructura es de bloques sub angulares débil fino y medio, suelto en seco, suelto en húmedo no adherente no plástico. El pH es débilmente ácido, la C. E. es baja, los niveles de M.O. y N son muy bajos, el contenido de K es bajo y el de P es moderado.

Typic Quartsipsamments. (Unidad de Terreno N° 113, Perfil N° 316) Nombre: Llanura de piedemonte de Villa Aroma



Localización: Ubicada en la comunidad Villa Aroma.

Cobertura y/o Uso Actual de la Tierra: Matorral siempre verde, semideciduo, andino Las especies más representativas son las tholas (*Parastrephia sp.* y otras) y paja brava (*Stipa frígida*). Los suelos, mayormente se destinan al pastoreo extensivo de camélidos. Existe una importante superficie destinada a la actividad agrícola especialmente cultivo de quinua, la preparación de terreno es manual y mecanizada, con poca aplicación de fertilizantes.

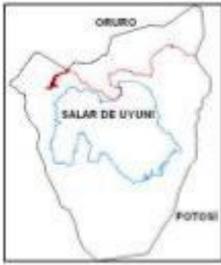
Problemas detectados: En toda la zona de estudio la disponibilidad de agua es baja; los suelos tienen muchos fragmentos gruesos y están afectados por procesos erosivos hídricos y en menor proporción la erosión eólica. La cubierta vegetal es escasa por uso antrópico y sobrepastoreo.

Características de los suelos: Unidad situada a una elevación promedio de 3.980 msnm., con pendientes que fluctúan de 5 a 10 %; el microrelieve es superficie plana, la materia orgánica es fibríca, el drenaje superficial es lento y el drenaje interno es moderadamente rápido. La profundidad efectiva de los suelos es moderadamente profunda (50 - 100 cm.) con muchos (15 – 40 %) a pocos (2 -5 %) fragmentos; el color en húmedo es pardo oscuro, homogéneo en todo el perfil; la textura es uniforme en los horizontes es arena francosa, estructura bloques sub angulares, muy débiles a débiles, finos a medios; blando en seco, muy friable en húmedo; no adherente y no plástico. El pH es moderado a fuertemente alcalino, no se observan signos de salinidad, la C.E. es baja, los niveles de M.O. y N son muy bajos, el contenido de K es muy alto; el P es moderado; el Ca es moderado a muy alto.

Typic Quartzipsamments (Unidad de Terreno N° 74, Perfil N° 334); Nombre: Llanura de piedemonte de Lavaxa – Tres Cruces

Localización: Ubicada entre las comunidades de Lavaxa y Tres Cruces.

Cobertura y/o Uso Actual de la Tierra: Maatorral enano, siempre verde, planas pulvinadas. Las especies más representativas son las tholas (*Parastrephia sp.* y otras) y paja brava. Existe una gran superficie destinada a la actividad agrícola especialmente cultivo de quinua, solo la preparación de terreno es mecanizada, la tecnología es tradicional no se tiene evidencias sobre la aplicación de fertilizantes químicos. Las variedades de quinua que producen son criollas.



Problemas detectados: Suelos con procesos erosivos por acción eólica y en menor proporción la erosión hídrica, a nivel de las parcelas productivas, también se observaron pequeños surcos y cárcavas en el piedemonte. Poca cobertura vegetal.

Características de los suelos: La unidad de terreno se encuentra a una elevación promedio de 3.920 msnm., con pendientes que fluctúan de 1 a 5%, el microrelieve es irregular, la materia orgánica es fibrilosa, el drenaje superficial lento y el interno es moderadamente rápido. Los suelos superficiales (30 –50 cm.), con presencia de fragmentos comunes (5 – 15%); el color en húmedo en los horizontes es pardo, la textura en el horizonte superior es arena y en los inferiores es arena francosa; su estructura es grano simple, muy débil, fino y medio, suelto en seco y húmedo, no adherente no plástico en todos los horizontes. El pH es moderadamente alcalino, no se observan signos de salinidad, la C. E. es baja, los niveles de M.O. y N son muy bajos, los contenidos de K y P, son moderados.

Typic Quartzipsamments (Unidad de Terreno N° 26, Perfil N° 371) Nombre Llanura de piedemonte, al Sud de Villa Alota



Localización: Ubicada al sud este en el área de estudio. Abarca la parte sud y este de la población de Villa Alota, comprende el sector sud del Río Alota.

Cobertura y/o Uso Actual de la Tierra: Matorral siempre verde, semideciduo, andino. Las especies más representativas son las tholas (*Parastrephia sp.* y otras) y añahuaya (*Adesmia miraflorensis*), en poca proporción gramíneas bajas como la paja brava (*Stipa frigida*). La actividad más importante es la ganadería extensiva de camélidos; La siembra de la quinua abarca una superficie importante, es mecanizada, con poca aplicación de fertilizantes.

Problemas detectados: Suelos con procesos erosivos por acción hídrica y en menor proporción la erosión eólica, se observan pequeños surcos y cárcavas, como también dunas en las zonas sin vegetación, donde se sembró anteriormente quinua. No se realiza ninguna práctica de conservación de suelos, especialmente para controlar las pequeñas cárcavas y las dunas.

Características de los suelos: Unidad sitiada en promedio a 3.990 msnm., con pendientes inclinadas que fluctúan de 3 a 8 %, poca pedregosidad en superficie, el microrelieve es de pequeñas ondulaciones, la materia orgánica es fibrilosa, el drenaje superficial es lento y el interno es rápido. La profundidad efectiva de los suelos y raíces es modernamente profunda. Los suelos son moderadamente profundos, el color en húmedo es homogéneo en el perfil pardo amarillento oscuro; la textura es franco arenosa la capa superior y arenosa la capa inferior uniforme en todo el perfil, arena francosa; la estructura es bloques sub angulares, muy débiles, finos el horizonte superior, grano simple el subsuelo; consistencia muy friable en húmedo, no adherente y no plástico en mojado la capa superior, suelto en húmedo, no adherente, no plástico en mojado el horizonte inferior; pocos fragmentos en la capa superior y comunes en el subsuelo. El pH es neutro; la C. E. es baja; la M.O. es baja; el P es moderado; el K es alto; Ca, Mg y Na bajos.

Typic Quartzipsamments (Unidad de Terreno N° 37, Perfil N° 371); Nombre: Llanura de piedemonte de Sora



Localización: Al Nor Oeste de la comunidad de Chacka camino a San Agustín.

Cobertura y/o Uso Actual de la Tierra: Matorral siempre verde, semideciduo, andino. Las especies más representativas son las tholas (*Parastrephia sp.* y otras). Existe superficie destinada al cultivo de quinua, como también ganadería extensiva de camélidos, la preparación de terreno lo realizan de manera tradicional no utilizan mucho maquinaria agrícola.

Problemas detectados: Descansos de terrenos sin cobertura por tiempos prolongados, dejan expuesto a los suelos de la erosión eólica.

Características de los suelos: Unidad situada en promedio a 4.500 msnm., con pendientes que fluctúan de 1 a 8 %, el microrelieve es de una superficie plana, la materia orgánica es fibrilosa, el drenaje superficial es lento y el interno es rápido. Los suelos son moderadamente profundos (50 –

100 cm.), con presencia de fragmentos pocos (2– 5 %); el color en húmedo en el primer y segundo horizonte es pardo amarillento oscuro; la textura en el horizonte superior es franco arenosa y en los inferiores es arenosa; su estructura es de bloques sub angulares moderado fino en la capa arable y en el subsuelo es grano simple, muy débil a finos, muy friable en húmedo, no adherente no plástico en los primeros horizontes y suelto en húmedo no adherente no plástico en los horizontes inferiores. El pH es neutro, no se observan signos de salinidad, la C.E. es baja, los niveles de M.O. y N son muy bajos, el contenido de K es alto y el P es moderado.

Typic Ustorthents. (Unidad de Terreno Nº 16, Perfil Nº 301); Nombre: Llanura de piedemonte de Uyuni - Chita



Localización: Ubicada al Nor Este de la ciudad de Uyuni.

Cobertura y/o Uso Actual de la Tierra: Matorral siempre verde, semideciduo, subandino, semidesierto. Las especies más representativas son las tholas (*Parastrephia sp.* y otras), paja brava (*Stipa frigida*). Existe poca superficie destinada a la actividad agrícola especialmente cultivo de quinua, se pudo evidenciar actividad ganadera extensiva de camélidos, la preparación de terreno es mecanizada, las técnicas de siembra y las labores culturales se lo realiza de forma tradicional no existe la aplicación de fertilizantes químicos.

Problemas detectados: Mal laboreo del suelo por el uso inadecuado de maquinaria, suelos muy frágiles a procesos erosivos por acción hídrica y eólica.

Características de los suelos: La unidad de terreno se encuentra a una elevación promedio de 3.920 msnm., con pendientes que fluctúan de 1 a 3%, el microrelieve es de una superficie ligeramente inclinada, la materia orgánica es fibrica, el drenaje superficial es lento, el interno es rápido. Los suelos son moderadamente profundos (50 - 100 cm.), el color en húmedo es homogéneo en todo el horizonte pardo amarillento oscuro; la textura es uniforme en el perfil es franco arenosa; su estructura es grano simple en la capa arable y en el subsuelo es de bloques sub angulares, muy débil a débil, fino a medio, suelto en seco y en húmedo; no adherente y no plástico en mojado. El pH es moderado a fuertemente alcalino, no se observan signos de salinidad corroborados por los valores bajos de la conductividad eléctrica, los niveles de M.O. y N son muy bajos, el contenido de K varía de alto a muy alto; el P cambia de bajo a moderado.

Typic Ustorthents (Unidad de Terreno Nº 43, Perfil Nº 307); Nombre: Llanura de piedemonte, ligeramente disectada de Colcha K – Agua Quisa – San Juan



Localización: Ubicada al Nor Este de Colcha K.

Cobertura y/o Uso Actual de la Tierra: Matorral enano siempre verde y herbácea, gramínea baja, sin sinusia. Las especies más representativas son las tholas (*Parastrephia sp.* y otras), paja brava. Existen importantes áreas agrícolas destinadas al cultivo de quinua, la preparación de terreno es mecanizada, escasa incorporación de abonos y fertilizantes.

Problemas detectados: Suelos expuestos a procesos erosivos eólicos e hídricos, inadecuado uso de maquinaria agrícola. Escasa cobertura vegetal, extracción para uso energético doméstico.

Características de los suelos: Unidad ubicada en promedio a 4.090 msnm., con pendientes que fluctúan de 1 a 2 %, el microrelieve es de una superficie plana, la materia orgánica es fibrica, el drenaje superficial es lento y el interno es moderadamente rápido. Los suelos son moderadamente profundos (50 – 100 cm.), con presencia de fragmentos muchos (15 – 40 %); el color en húmedo en los horizontes es homogéneo pardo amarillento oscuro; la textura en la capa arable es franco arenosa; su estructura es de bloques sub angulares débil fino y medio, ligeramente duro en seco muy friable en húmedo, ligeramente adherente no plástico, en el segundo horizonte la estructura es bloque sub angular, muy débil finos muy friable en húmedo no adherente no plástico, y en los horizontes inferiores la textura es franco arenosa. El pH es fuertemente alcalino, se observan signos fuertes a muy fuertes de salinidad, la C. E. es alta, los niveles de M.O. y N son muy bajos, el contenido de K es muy alto y P es moderado.

Typic Ustorthents (Unidad de Terreno Nº 44, Perfil Nº 354); Nombre: Llanura de piedemonte, moderadamente disectada de Santiago – Sutullcha - Pelcoya

Localización: Ubicada al Sur del Salar de Uyuni, donde las poblaciones de referencia son Santiago, Sutullcha, Pelcoya.

Cobertura y/o Uso Actual de la Tierra: Matorral siempre verde, semideciduo, andino. Las especies más representativas son las tholas (*Parastrephia sp.* y otras), añahuaya (*Adesmia miraflorensis*).

La principal actividad es la ganadería con pastoreo extensivo de camélidos; existe actividad agrícola especialmente cultivo de quinua, la preparación de terreno es manual y mecanizada, la tecnología es tradicional con poca aplicación de fertilizantes.

Problemas detectados: Suelos con moderados procesos erosivos por acción hídrica y en menor proporción la erosión eólica, se observan pequeños surcos y cárcavas.



Características de los suelos: Unidad ubicada en promedio a 4.160 msnm., con pendientes que fluctúa de 2 a 6 %, el microrelieve es de superficie plana y superficie ondulada, la M.O. es fibrica, el drenaje superficial es lento y el interno es rápido. La profundidad efectiva de los suelos y raíces es modernamente profunda. Los suelos son moderadamente profundos, de poco desarrollo pedogenético; el color en húmedo es homogéneo en todo el perfil es pardo amarillento oscuro; la textura es uniforme en todo el perfil es franco arenosa; la estructura es bloques sub angulares, muy débiles, finos a medios; consistencia muy friable a suelto en húmedo, no adherente y no plástico en mojado; fragmentos comunes en todo el perfil. El pH es neutro; la conductividad eléctrica es moderada; la M.O. es baja, el P y Ko son altos; el Ca es moderado; el Mg es alto; el Na es bajo.

Typic Ustorthents (Unidad de Terreno N° 81 Nombre, Perfil N° 317); Nombre: Llanura de piedemonte de Luca



Localización: Ubicada en la comunidad de Luca y zonas vecinas; comprende una llanura de piedemonte con pendientes planas a ligeramente inclinadas.

Cobertura y/o Uso Actual de la Tierra: Matorral enano, siempre verde, plantas pulvinadas, andino aluvial. Las especies más representativas son las tholas (*Parastrephia sp.* y otras), paja brava (*Stipa frígida*) y chiqui (gramínea). Existe una importante superficie destinada a la actividad agrícola especialmente cultivo de quinua, la preparación de terreno es mecanizada, la tecnología es tradicional con poca aplicación de fertilizantes químicos.

Problemas detectados: Suelos susceptibles a la erosión eólica, la cubierta vegetal es escasa por acción de la ganadería camélica y humana.

Características de los suelos: Unidad ubicada en promedio a 3.950 msnm, con pendientes que fluctúan de 1 a 3 %; el microrelieve es superficie plana; la materia orgánica es fibrica, el drenaje superficial es lento y el drenaje interno es moderadamente rápido. La profundidad efectiva de los suelos es moderadamente profunda (50 - 100 cm.) y de raíces es superficial (30- 50 cm.) con muchos (15 - 40 %) a dominantes (> 80 %) fragmentos; el color en húmedo es homogéneo en todo el perfil pardo amarillento oscuro, la textura es franco arenosa en todos los horizontes, estructura en bloques sub angulares, muy débiles a débiles, finos y medios; blando en seco, muy friable a friable en húmedo; no adherente y no plástico. El pH es débil a moderadamente alcalino, no se observan signos de salinidad, la C. E. es baja, los niveles de M.O. y N son muy bajos, el contenido de K es muy alto y el P es moderado a bajo.

Typic Ustorthents (Unidad de Terreno N° 88, Perfil N° 339); Nombre: Llanura de piedemonte de Tambo Tambillo



Localización: Ubicada al Nor Este de Tambo Tambillo.

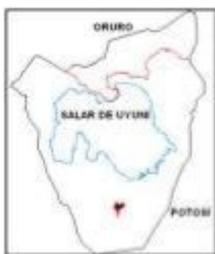
Cobertura y/o Uso Actual de la Tierra: Matorral caducifolio, deciduo por sequía, andino, semidesierto. Las especies más representativas son las tholas (*Parastrephia sp.* y otras) y en poca cantidad paja brava. Es la zona nueva para la expansión del cultivo de quinua. La preparación de terreno es mecanizada, poca aplicación de abonos y fertilizantes.

Problemas detectados: Suelos muy frágiles al uso de maquinaria agrícola ya que genera procesos erosivos por acción hídrica y eólica, también se observó la extracción de la cobertura vegetal de grandes extensiones para habilitar nuevas áreas agrícolas.

Características de los suelos: Unidad ubicada en promedio a 3.920 msnm., con pendientes que fluctúan de 1 a 3 %; el microrelieve es superficie plana, la materia orgánica es fibrica, el drenaje superficial es lento y el drenaje interno es moderadamente rápido. La profundidad efectiva de los suelos es moderadamente profunda (50 - 100 cm.); el color en húmedo es pardo en la capa arable, pardo en los horizontes inferiores, la textura es homogénea en todos los horizontes franco arenosa, estructura migajosa en todo el perfil, débiles, medios; suelto a blando en seco, friable en húmedo; ligeramente adherente y ligeramente plástico en húmedo. El pH es moderadamente

alcalino, la C.E. es baja, los niveles de M.O. y N son muy bajos, el contenido de K es muy alto y P es moderado a bajo.

Aridic Ustorthents (Unidad de Terreno N° 55, Perfil N° 328); Nombre: Llanura de piedemonte, ligeramente disectada de Calcha K



Localización: Ubicada al Norte de la Comunidad de Calcha K.

Cobertura y/o Uso Actual de la Tierra: Matorral siempre verde, semideciduo, andino. Las especies más representativas son las tholas (*Parastrephia sp.* y otras), paja brava. Existe una importante superficie destinada a la actividad agrícola especialmente de áreas nuevas para el cultivo de quinua, la preparación de terreno es mecanizada, la siembra es tradicional se desconoce la aplicación de fertilizantes químicos.

Problemas detectados: Suelos muy frágiles con procesos erosivos por acción eólica y en menor proporción la erosión hídrica a nivel de las nuevas parcelas habilitadas con maquinaria agrícola para el cultivo de quinua bastante cobertura vegetal (tholas) que está en peligro por la expansión de nuevas áreas agrícolas.

Características de los suelos: Unidad ubicada en promedio a 3.970 msnm., con pendientes que fluctúan de 1 a 5 %, el microrelieve es de una superficie irregular, la M.O. fibrica, el drenaje superficial e interno es moderadamente rápido. Los suelos moderadamente profundos (50 – 100 cm.), con presencia de fragmentos comunes (5 – 15 %); el color en húmedo en la capa arable y el subsuelo es pardo; la textura en el horizonte superior es franco arenoso y en los inferiores es arena francosa; su estructura es grano simple, débil fino suelto en seco, no adherente no plástico en ambos horizontes. El pH es fuertemente alcalino, la C.E. es baja, los niveles de M.O. y N son muy bajos, el contenido de K es muy alto y P bajo.

Aridic Ustorthents. (Unidad de Terreno N° 98, Perfil N° 322); Nombre: Llanura de piedemonte de Jaruma



Localización: Ubicada en la comunidad de Jaruma.

Cobertura y/o Uso Actual de la Tierra: Matorral enano, siempre verde, plantas pulvinadas, andino aluvial. Las especies más representativas son las tholas (*Parastrephia sp.* y otras) y paja brava (*Stipa frígida*). La mayor superficie se destina al pastoreo extensivo de camélidos Existe poca superficie destinada a la actividad agrícola especialmente cultivo de quinua, la preparación de terreno es manual y mecanizada, poca aplicación de abonos y fertilizantes.

Problemas detectados: Suelos con procesos erosivos por acción hídrica y eólica, la cobertura vegetal es escasa originada por acción de la ganadería camélida e intervención humana.

Características de los suelos: La unidad de terreno se encuentra a una elevación promedio de 3.980 msnm., con pendientes que fluctúan de 1 a 5 %; el microrelieve es superficie plana, la materia orgánica es fibrica, el drenaje superficial es lento y el drenaje interno es moderadamente rápido. La profundidad efectiva de los suelos es moderadamente profunda (50 - 100 cm.) con muy pocos (0 – 2 %) fragmentos; el color en húmedo es pardo rojizo oscuro en el horizonte superficial y en los horizontes inferiores es pardo rojizo; la textura es homogénea en todos los horizontes franco arenosa, estructura bloques sub angulares, muy débiles a débiles, finos a medios; suelto a blando en seco, muy friable a friable en húmedo; no adherente y no plástico. El pH es fuertemente alcalino, no se observan signos de salinidad, la C.E. es baja, los niveles de M.O. y N son muy bajos, el contenido de K es alto; el de P es bajo.

Aridic Quartzipammets (Unidad de Terreno N° 87, Perfil N° 337); Nombre: Llanura de piedemonte de Cacota - Khalasaya



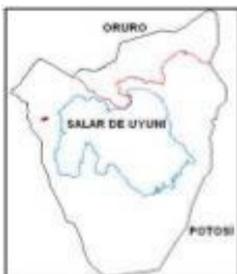
Localización: Ubicada entre las comunidades de Cacota y Khalasaya.

Cobertura y/o Uso Actual de la Tierra: Matorral enano, siempre verde, plantas pulvinadas, andino aluvial, estacionalmente anegadas. Las especies más representativas son las tholas (*Parastrephia sp.* y otras), paja brava. Existen importantes extensiones destinadas a la actividad agrícola especialmente cultivo de quinua; la preparación de terreno es mecanizada.

Problemas detectados: Suelos muy frágiles al uso de maquinaria agrícola por generar procesos erosivos por acción hídrica y eólica, también se evidencio el peligro que corre la vegetación por la ampliación de nuevas áreas agrícolas.

Características de los suelos: Unidad situada a una elevación promedio de 3.910 msnm., con pendientes que fluctúan de 1 a 3 %, el microrelieve es de una superficie plana, la materia orgánica es fibrica, el drenaje superficial es lento y el drenaje interno es moderadamente lento. La profundidad efectiva de los suelos (30 – 50 cm); el color en húmedo es pardo, la textura es franco arenosa en todo el perfil; su estructura es grano simple, muy débiles, finos a medios, blando en seco y friable en húmedo, no adherente a ligeramente adherente y no plástico a ligeramente plástico. El pH es débilmente alcalino, no se observan signos de salinidad, la C.E. es baja, los niveles de M.O. y N son muy bajos, el contenido de K es muy alto y P es moderado.

Lithic Torriorthents (Unidad de Terreno N° 64, Perfil N° 1287); Nombre: Llanura de piedemonte de Pilani



Localización: Situada en la comunidad de Pilani; comprende una llanura de piedemonte con pendientes ligeramente inclinadas a inclinadas.

Cobertura y/o Uso Actual de la Tierra: Matorral siempre verde, semideciduo, andino, semidesierto. Las especies más representativas son las tholas (*Parastrephia sp.* y otras) y paja brava. Los terrenos mayormente se destinan al pastoreo extensivo de camélidos.

Problemas detectados: Suelos poco profundos, con procesos erosivos por acción del viento, poca cubierta vegetal por acción antrópica y de la ganadería camélica.

Características de los suelos: Unidad situada en promedio a 4.240 msnm., con pendientes que fluctúan de 5 a 10 %; el microrelieve es irregular, la materia orgánica es fibrica, el drenaje superficial es lento y el drenaje interno es moderadamente rápido. La profundidad efectiva de los suelos es superficial (30 - 50 cm.) con fragmentos comunes (5 – 15 %); el color en húmedo es pardo amarillento oscuro, la textura en todos los horizontes es homogénea es franco arenosa, estructura en bloques sub angulares, débiles, finos y medios; blando en seco, muy friable en húmedo; ligeramente adherente y no plástico. El pH del suelo es fuertemente ácido; no se observan signos de salinidad, la C.E. es baja, los niveles de M.O. es baja y el N es moderado, el contenido de K es muy alto y el P es alto.

Lithic Torriorthents (Unidad de Terreno N° 114, Perfil N° 1312); Nombre: Llanura de piedemonte Challa Vinto



Localización: Ubicada al Sud de la comunidad de Challa Vinto.

Cobertura y/o Uso Actual de la Tierra: Matorral enano, siempre verde, semideciduo, andino. Las especies más representativas son las tholas (*Parastrephia sp.* y otras) y paja brava. Existe superficie destinada a la actividad agrícola especialmente cultivo de quinua, como también pastoreo extensivo de camélidos, la preparación de terreno es mecanizada, la siembra y las labores culturales es tradicional con poca aplicación de fertilizantes químicos. Las variedades de quinua que se utilizan para el cultivo son criollas.

Problemas detectados: Suelos con procesos erosivos por acción eólica y en menor proporción la erosión hídrica en las áreas cultivables. Influencia de la mecanización inadecuada.

Características de los suelos: Unidad situada en promedios a 3880 m.s.n.m., con pendientes que fluctúan de 20 a 37 %, el microrelieve es irregular, materia orgánica es fibrica, el drenaje superficial y el interno son moderadamente rápidos. Los suelos son muy superficiales (< 30 cm.), con presencia de fragmentos muchos (15 – 40%); el color en húmedo en la capa arable y en el sub suelo es pardo oscuro; la textura en el primer horizonte y en el sub suelo es franco arenosa, la estructura es de bloques subangulares muy débil, medio, blando en seco muy friable en húmedo ligeramente adherente, ligeramente plástico. El pH es débilmente alcalino, no se observan signos de salinidad, la C.E. es baja, los niveles de M.O. y N son muy bajos, el contenido de K es muy bajo y el de P es moderado.

Entre los Inceptisoles, se han identificado los siguientes Sub Grupos:

Typic Haplustepts (Unidad de Terreno N° 2, Perfil N° 364); Nombre: Llanura de piedemonte de Huari – Sevaruyo

Localización: Ubicada al NE de Sevaruyo y al SE de la población de Huari.

Cobertura y/o Uso Actual de la Tierra: Matorral enano caducifolio, semidecuido, subandino, semidesierto. Las especies más representativas son las tholas (*Parastrephia sp.* y otras), la paja brava (*Stipa frígida*) y el añahui (*Adesmia miraflorensis*). Existe poca superficie destinada a la actividad agrícola principalmente al cultivo de quinua. Mayormente se destinan a pastoreo extensivo de camélidos. La preparación de terreno es mecanizada, en la siembra se aplica estiércol de camélidos.

Problemas detectados: Fuerte tendencia para habilitar nuevas áreas agrícolas con maquinaria, que causa una masiva extracción de la escasa cobertura vegetal, dejando a los suelos susceptibles a procesos erosivos hídrica y eólica.



Características de los suelos: Unidad situada en promedio a 4.080 msnm., con pendientes que fluctúan de 1 a 2 %, el microrelieve es de una superficie plana, la M.O. es fibrica, el drenaje superficial es lento y el interno es rápido. Los suelos son moderadamente profundos (50 - 100 cm.), el color en húmedo es pardo y en profundidad es pardo oscuro. La textura es franco arenosa en la capa superior y franco arenosa en el horizonte inferior, su estructura es de bloques sub angulares, muy débiles, débiles a moderados en el segundo horizonte, finos a medios; muy friable a friable, en húmedo, no adherente a ligeramente adherente no plástico a ligeramente plástico en mojado. El pH es neutro; no se observan signos de salinidad, la C.E. es baja; los niveles de M.O., C.O. y N son bajos; el contenido de K y P es moderado y el nivel de Na es bajo.

Typic Haplustepts Unidad de Terreno N° 23, Perfil N° 304); Nombre: Llanura de piedemonte de Vilama



Localización: Ubicada al Norte y Sud de la comunidad de Vilama; comprende una llanura de piedemonte, con pendientes planas a inclinadas.

Cobertura y/o Uso Actual de la Tierra: Matorral siempre verde, semidecuido, andino. Las especies más representativas son las tholas (*Parastrephia sp.* y otras) y paja brava (*Stipa frígida*). La superficie destinada a la actividad agrícola especialmente cultivo de quinua es poca, mayormente se emplean al pastoreo extensivo de camélidos, la preparación de terreno es mecanizada por la colaboración que les brinda la Mina San Cristóbal alquilándoles tractores a precios bajos, la tecnología es tradicional con poca aplicación de fertilizantes químicos.

Problemas detectados: Los suelos presentan procesos erosivos, principalmente por acción eólica. La cubierta vegetal es escasa por acción de la ganadería camélida y antrópica.

Características de los suelos: Unidad situada en promedio a 3.970 m.s.n.m., con pendientes que fluctúan de 1 a 7 %, el microrelieve es de pequeñas ondulaciones, la materia orgánica es fibrica, el drenaje superficial es lento y el drenaje interno es moderadamente rápido. La profundidad efectiva de los suelos es moderadamente profunda (50 – 100 cm), con fragmentos comunes (5 -15 %) a muchos (15 – 40 %), el color en húmedo en el primer horizonte es pardo muy oscuro y pardo oscuro en el subsuelo, la textura es franco arenosa en el horizonte superficial, franco arcillo arenosa en profundidad, su estructura es bloques sub angulares a angulares, muy débiles a débiles, finos, muy friable a friable en húmedo; no adherente y no plástico en mojado. El pH es débil a moderadamente alcalino, no se observan signos de salinidad, la C.E. es baja, los niveles de M.O. y N son muy bajos, el contenido de K es muy alto y el P es moderado a bajo; el Na es moderado a muy alto.

Typic Haplustepts (Unidad de Terreno N° 83, Perfil N° 359); Nombre: Llanura de piedemonte de Jirira – Tunupa - Tahua



Localización: Ubicada al Norte del Salar de Uyuni. Comprende el piedemonte del Volcán Tunupa. Las comunidades de referencia son Jirita, Tahua.

Cobertura y/o Uso Actual de la Tierra: La vegetación dominante que cubre la unidad de terreno corresponde a matorral siempre verde, semidecuido, andino. Las especies más representativas son las tholas (*Parastrephia sp.* y otras), añahuaya (*Adesmia miraflorensis*). La principal actividad es agricultura extensiva del cultivo de quinua, con uso de maquinaria agrícola en la preparación del terreno; otro uso importante es la ganadería con pastoreo extensivo de camélidos.

Problemas detectados: Por las pendientes inclinadas, la extracción de la cobertura vegetal para la

habilitación de terrenos agrícolas y la textura franco arenosa a arenosa, dominante de la capa superficial, se observan procesos de erosión eólica como pequeñas dunas.

Características de los suelos: La unidad de terreno se encuentra a una elevación promedio de 3.980 msnm., con pendientes que fluctúan de 2 a 8 %, el microrelieve es de superficie plana, el drenaje superficial es lento y el interno es rápido. Los suelos son poco a moderadamente profundos, el color en húmedo es pardo oscuro el horizonte superior, pardo oscuro y pardo amarillento oscuro el subsuelo; la textura es franco arenosa la capa superior y franco arenosa el horizonte inferior, la estructura es bloques sub angulares, muy débiles, finos y medios el horizonte superior, bloques sub angulares, muy débiles, finos a gruesos los horizontes inferiores; consistencia muy friable en húmedo, ligeramente adherente a no adherente y no plástico en mojado en todo el perfil; pocos fragmentos, finos y medios en todo el suelo. El pH es ligeramente ácido a neutro; la C.E. varía de alta a baja; la M.O. es baja; el P varía de alto a medio; el K varía de medio a bajo; el Ca, Mg y Na son bajos.

Typic Eutrochrepts (Unidad de Terreno N° 91, Perfil N° 1302); Nombre: Llanura de piedemonte, moderadamente disectada de Rodeo



Localización: Situada en la comunidad de Rodeo; Llanura moderadamente disectada, con pendientes planas a ligeramente inclinadas.

Cobertura y/o Uso Actual de la Tierra: Herbácea, gramínea baja, andino, cespitosa. Las especies más representativas son las tholas (*Parastrephia sp.* y otras) y paja brava (*Stipa frígida*). Existe mucha superficie destinada a la actividad agrícola especialmente cultivo de quinua, la preparación de terreno es manual y mecanizada, poca aplicación de fertilizantes químicos

Problemas detectados: Suelos con procesos erosivos por acción eólica, también se observan pequeños surcos y cárcavas. La cubierta vegetal es escasa por acción de la ganadería camélida y la intervención humana.

Características de los suelos: La unidad de terreno se encuentra a una elevación promedio de 3.850 msnm., con pendientes que fluctúan de 1 a 5 %; el microrelieve son pequeñas ondulaciones, la M.O. es fibrica, el drenaje superficial es moderadamente rápido y el drenaje interno es rápido. La profundidad efectiva de los suelos es moderadamente profunda (50 - 100 cm.) con pocos (2 - 5 %) fragmentos; el color en húmedo es pardo fuerte en el horizonte superficial y en los horizontes inferiores pardo; la textura es franco arenosa, estructura bloques sub angulares en el horizonte superior y masiva en los horizontes inferiores, muy débiles a moderados, medios a gruesos; suelto a blando en seco, suelto a muy friable en húmedo; no adherente a ligeramente adherente y no plástico a ligeramente plástico. El pH del suelo es fuertemente alcalino, no se observan signos de salinidad, la C.E. es baja, los niveles de M.O. y N son muy bajos, el contenido de K es alto y P es moderado.

Typic Eutrochrepts (Unidad de Terreno N° 103, Perfil N° 965); Nombre: Llanura de piedemonte de Cieneguillas



Localización: Ubicada en la parte Sud Este en el área de estudio. Al Sud del Salar de Uyuni. La comunidad de referencia es Cieneguillas.

Cobertura y/o Uso Actual de la Tierra: Matorral enano, siempre verde, semideciduo, andino y en menor porcentaje graminoide baja. Las especies más representativas son las tholas (*Parastrephia sp.* y otras), añahuaya (*Adesmia miraflorensis*), paja brava (*Stipa frígida*). Existe poca superficie destinada a la agricultura especialmente cultivo de quinua, mayormente es ganadería con pastoreo extensivo de camélidos, la preparación de terreno es manual y mecanizada, poca aplicación de abonos y fertilizantes.

Problemas detectados: Suelos con procesos erosivos por acción hídrica y erosión eólica, se observan pequeñas dunas, erosión en surcos.

Características de los suelos: La unidad de terreno se encuentra a una elevación promedio de 3.930 msnm., con pendientes que fluctúa de 1 a 2 %, pedregosidad superficial comunes; el microrelieve es de superficie plana, drenaje superficial es lento y el interno es rápido. Los suelos son moderadamente profundos, el color en húmedo es pardo el horizonte superior, pardo oscuro el subsuelo; la textura es franco arenosa la capa superior, franco arcillo arenosa y arenosa franca el

sub suelo; estructura bloques sub angulares, moderados, medianos a grano suelto; consistencia friable a muy friable en húmedo, ligeramente adherente a no adherente y ligeramente plástico a no plástico en mojado; pocos fragmentos. Medianos a piedras en la capa superior, fragmentos dominantes, gruesos y piedras a mayor profundidad. El pH del suelo es fuertemente alcalino; la C.E. es baja; la M.O. es baja; P moderado; K alto; Ca, Mg y Na altos.

Entre los Aridisoles, se han identificado a los siguientes subgrupos:

Typic Camborthids (Unidad de Terreno Nº 21, Perfil Nº 887); Nombre: Llanura de piedemonte de San Cristóbal

Localización: Ubicada al Noreste y Sud de la comunidad de San Cristóbal.

Cobertura y/o Uso Actual de la Tierra: Matorral enano, siempre verde, semideciduo, andino. Las especies más representativas son las tholas (*Parastrephia sp.* y otras), la paja brava (*Stipa frígida*). La superficie ocupada por la actividad agrícola especialmente cultivo de quinua es muy poca, mayormente se destina al pastoreo extensivo de camélidos, la preparación del terreno es mecanizada -colaboración de la Mina San Cristóbal que les alquilan tractores-, poca aplicación de fertilizantes químicos.



Problemas detectados: Los suelos están afectados por erosión eólica. Contaminación por el polvo debido a la actividad del transporte de maquinaria pesada generado por la mina San Cristóbal. La cubierta vegetal es poca por acción de la ganadería camélica y otras actividades humanas.

Características de los suelos: Unidad situada en promedio a 3.940 msnm., con pendientes que fluctúan de 1 a 7 %, el microrelieve es de pequeñas ondulaciones, la M.O. es fibrica, el drenaje superficial es moderado y el drenaje interno es moderadamente rápido. La profundidad efectiva de los suelos es moderadamente profunda (50 – 100 cm), con comunes (5 -15 %) a abundantes (40 – 80 %) fragmentos; el color en húmedo en el primer horizonte es pardo fuerte y pardo rojizo en el subsuelo, la textura es franco arenosa en el horizonte superficial, franco arcillo arenosa en profundidad, la estructura es de bloques sub angulares a angulares, débiles a moderados, finos a medios, blando a ligeramente duro en seco, friable a firme en húmedo; ligeramente adherente a adherente y no plástico a ligeramente plástico en mojado. El pH del suelo es neutro a débilmente alcalino, no se observan signos de salinidad, la C.E. es baja, los niveles de M.O. y N son muy bajos, el contenido de K es muy alto y el P es alto; el Na es bajo a moderado.

Typic Camborthids (Unidad de Terreno Nº 39, Perfil Nº 896); Nombre: Llanura de piedemonte, ligeramente disectada al Oeste de San Agustín



Localización: Ubicada al Sur de la comunidad Amor.

Cobertura y/o Uso Actual de la Tierra: Matorral siempre verde semideciduo, andino. Las especies más representativas son las tholas (*Parastrephia sp.* y otras), paja brava (*Stipa frígida*). En cercanías de la comunidad de San Agustín existen grandes extensiones con cultivos de quinua y asimismo sistemas de micro riego, rudimentarios que utilizan para el cultivo de hortalizas. Existe superficies destinada al cultivo de quinua de quinua, áreas de pastoreo extensiva de camélidos, la preparación de terreno es mecanizado, con escasa aplicación de abonos y fertilizantes.

Problemas detectados: Suelos muy frágiles a procesos erosivos por acción hídrica y erosión eólica, también se observaron pequeños surcos y cárcavas a consecuencia de la habilitación de nuevas áreas para el cultivo de quinua a nivel de la pendiente superior.

Características de los suelos: Unidad situada en promedio a 4.180 msnm., con pendientes que fluctúan de 10 a 15 %, el microrelieve es irregular, la M.O. es fibrica, el drenaje superficial es moderadamente rápido el interno es rápido. Los suelos son moderadamente profundos (50 – 100 cm.), con presencia de fragmentos comunes (5 – 15 %); el color en húmedo en los primeros horizontes es pardo amarillento oscuro y en el horizonte inferior es pardo; la textura en el horizonte superior es franco arcillo arenosa y en los inferiores es franco arenosa; su estructura es de bloques sub angulares muy débil fino blando muy friable en húmedo, ligeramente adherente, ligeramente plástico en la capa arable y en el subsuelo bloques sub angulares muy débil a fino,

friable a firme en húmedo ligeramente adherente no plástico. El pH es neutro, la C.E. es bajo, los niveles de M.O. y N son muy bajos, el contenido de K es muy alto y el de P es muy bajo.

Typic Camborthids (Unidad de Terreno N° 47, Perfil N° 1005); Nombre: Llanura de piedemonte de Cuye - Sinalaco



Localización: Ubicada alrededor de la comunidad de Uquilla y zonas aledañas.

Cobertura y/o Uso Actual de la Tierra: Matorral siempre verde, semideciduo, andino. Las especies más representativas son las tholas (*Parastrephia sp.* y otras), paja brava. Existen áreas destinadas a la actividad agrícola especialmente cultivo de quinua, y en menor proporción para el pastoreo extensivo de camélidos, la preparación de terreno es mecanizada, la tecnología es tradicional con poca aplicación de materia orgánica (estiércol de llama) no se evidencia el uso de fertilizantes químicos.

Problemas detectados: Suelos con procesos erosivos por la acción hídrica y eólica, existe buena cobertura vegetal (thola).

Características de los suelos: Unidad situada en promedio a 4.220 msnm., con pendientes que fluctúan de 1 a 34 %, el microrelieve es de una superficie irregular, la M.O. es fibrica, el drenaje superficial es rápido y el interno es moderadamente rápido. Los suelos son superficiales (30 – 50 cm.), con presencia de fragmentos de poco a comunes (2 – 15 %); el color en húmedo en el primer horizonte es pardo amarillento oscuro y en el horizonte inferior es pardo fuerte; la textura en el horizonte superior es franco arcillo arenoso; su estructura es de bloques sub angulares muy débil, fino y medio blando en seco friable en húmedo, ligeramente adherente y ligeramente plástico; y en el subsuelo es bloque sub angular moderado fino y medio blando a ligeramente duro en seco, muy friable en húmedo ligeramente adherente a adherente, ligeramente plástico a plástico. El pH es neutro, la C.E. baja, los niveles de M.O. y N son muy bajos, el K es muy alto y el P es bajo.

Typic Camborthids (Unidad de Terreno N° 69, Perfil N° 1251); Nombre: Llanura de piedemonte, ligeramente disectada de Belén



Localización: Ubicada al extremo Nor Oeste en el área de estudio. Las comunidades de referencia son Belén, Bella Vista, Bacuyo.

Cobertura y/o Uso Actual de la Tierra: Matorral siempre verde, semideciduo, andino con sinusia herbácea de gramíneas bajas. Las especies más representativa son las tholas (*Parastrephia sp.* y otras) y también existen añahuaya (*Adesmia miraflorensis*), paja brava (*Stipa frígida*).

Existe una importante superficie destinada a la actividad agrícola especialmente cultivo de quinua, la preparación de terreno es mecanizada, la tecnología es tradicional con poca aplicación de fertilizantes químicos. Las variedades de quinua son criollas, como la real.

Problemas detectados: Suelos con procesos erosivos por acción hídrica y eólica, se observan pequeños surcos y cárcavas en zonas sin cobertura vegetal. Por el fuerte viento en las superficies peladas abundan gravas y gravillas.

Características de los suelos: Unidad situada en promedio a 4.190 msnm., con pendientes que fluctúa de 4 a 8 %; pedregosidad superficial común; el microrelieve es de superficie ondulada, la M.O. es fibrica, el drenaje superficial es rápido y el interno es moderadamente rápido. La profundidad efectiva de los suelos y raíces es modernamente profunda. Los suelos son moderadamente profundos, el color en húmedo es homogéneo en todo el perfil es pardo amarillento oscuro; la textura es uniforme en todo el perfil, franco arenosa; la estructura es bloques Sub angulares, débiles, finos a medios; consistencia, muy friable en húmedo, ligeramente adherente a no adherente y no plástico en mojado, fragmentos comunes en el horizonte superior y muchos fragmentos en el subsuelo. El pH es ligeramente ácido a neutro; la C.E. baja a moderada; la M.O. es baja; P y K moderados a bajos; Ca, Mg y Na bajos.

Typic Camborthids (Unidad de Terreno N° 110, Perfil N° 1217); Nombre: Llanura de piedemonte de Uyuni K

Localización: Ubicada al Sud y Oeste de la comunidad de Uyuni K.

Cobertura y/o Uso Actual de la Tierra: Matorral siempre verde, semideciduo, andino. Las especies más representativas son las tholas (*Parastrephia sp.* y otras) y paja brava. Hay importante áreas de cultivo de quinua, la preparación de terreno es mecanizada, la siembra es tradicional se desconoce la aplicación de fertilizantes químicos.

Problemas detectados: El uso de maquinaria agrícola en la preparación del terreno agravando los suelos con procesos erosivos por acción hídrica y eólica también. Degradación de la escasa cobertura vegetal.

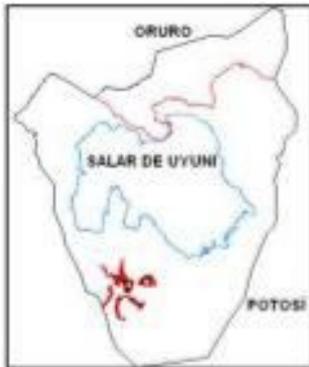


Características de los suelos: Unidad situada en promedio a 4.190 msnm, con pendientes que fluctúan de 5 a 9 %, el microrelieve pequeñas ondulaciones, M.O. fibrica, el drenaje superficial y el interno son moderadamente rápidos. Los suelos son moderadamente profundos (50 – 100 cm.), con presencia de fragmentos muy pocos (2 – 5 %); el color en húmedo en la capa arable es pardo grisáceo y en los horizontes inferiores es pardo amarillento oscuro; la textura en la capa arable y en el sub suelo es franco arcillo arenosa, la estructura es de bloques sub angulares moderado medio y grueso friable en húmedo ligeramente adherente a adherente, ligeramente plástico. El pH es suavemente alcalino, no se observan signos de salinidad, la C.E. es baja, los niveles de M.O. y N son muy bajos, el contenido de K es muy alto y el de P es bajo.

Typic Camborthids (Unidad de Terreno N° 105, Perfil N° 941); Nombre: Llanura de piedemonte de San Juan – Amor - Patana

Localización: Ubicada entre las comunidades de San Juan, Amor y Patana.

Cobertura y/o Uso Actual de la Tierra: Matorral siempre verde, semideciduo, andino. Las especies más representativas son las tholas (*Parastrephia sp.* y otras) y paja brava. Existe una importante superficie destinada a la producción de quinua, la preparación de terreno es mecanizada, la tecnología es tradicional no se pudo evidenciar la aplicación de fertilizantes químicos.



Problemas detectados: Suelos muy susceptibles a la erosión hídrica y eólica por el mal uso de maquinaria.

Características de los suelos: Unidad situada en promedio a 4.025 msnm., con pendientes que fluctúan de 1 a 5 %, el microrelieve es irregular, la M.O. es fibrica, el drenaje superficial es rápido y el interno es moderadamente lento. Suelos superficiales (30 – 50 cm.), presencia de fragmentos comunes (5 – 15%); el color en húmedo en la capa arable es pardo y en los horizontes inferiores es pardo amarillento oscuro; la textura en la capa arable y el horizonte inferior es arcillo arenosa; la estructura es de bloques sub angulares débil, medio, blando en seco, firme en húmedo muy adherente muy plástico. El pH es muy fuertemente alcalino, no se observan signos de salinidad, la C.E. es baja, los niveles de M.O. y N son muy bajos, el contenido de K es bajo y P es muy bajo.

Typic Calciorthids (Unidad de Terreno N° 49, Perfil N° 1229); Nombre: Llanura de piedemonte de Esmeralda – Buena Vista



Localización: Ubicada al Sud Este de la comunidad de Buena Vista.

Cobertura y/o Uso Actual de la Tierra: Matorral enano, siempre verde, semideciduo, andino. Las especies más representativas son las tholas (*Parastrephia sp.* y otras). Existen grandes áreas donde se realizan cultivos de quinua, la preparación de terreno es mecanizada, la siembra y las labores culturales con tecnología tradicional.

Problemas detectados: Suelos con procesos erosivos por acción eólica y en menor proporción la erosión hídrica a nivel de parcelas cultivables por la acción de la maquinaria agrícola, y la poca cobertura vegetal.

Características de los suelos: La unidad de terreno se encuentra a una elevación promedio de 3960 m.s.n.m., con pendientes que fluctúan de 1 a 2 %, el microrelieve es de una superficie plana, la materia orgánica es fibrica, el drenaje superficial e interno es moderadamente rápido. Los suelos son profundos (100 – 150 cm.), con presencia de fragmentos de muchos a comunes (5 – 15 – 40 %); el color en húmedo en el primer horizonte es pardo, del segundo al cuarto horizonte es pardo

amarillento oscuro, y el último es gris; la textura en la capa arable es arenosa francosa; y en los inferiores son de arenosa francosa a arenosa; su estructura es de bloques sub angulares a grano simple, de finos a fino y medio, blando en seco, muy friable en húmedo, no adherente y no plástico. El pH es muy fuertemente alcalino, no se observan signos de salinidad, la C.E. es baja, los niveles de M.O. y N son muy bajos, el contenido de K es muy alto y P es bajo.

Typic Calciorthids (Unidad de Terreno N° 109; Perfil N° 1254); Nombre: Llanura de piedemonte Murumuntani



Localización: Situada en la comunidad de Murumuntani; comprende una llanura de piedemonte con pendientes inclinadas.

Cobertura y/o Uso Actual de la Tierra: Matorral siempre verde, semideciduo, andino. Las especies más representativas son las tholas (*Parastrephia sp.* y otras) y paja brava (*Stipa frígida*). Los suelos, mayormente se destinan al pastoreo extensivo de camélidos, Existe poca superficie destinada a la actividad agrícola especialmente al cultivo de quinua, la preparación de terreno es manual, la tecnología es tradicional con poca aplicación de fertilizantes químicos y otros insumos.

Problemas detectados: Suelos con procesos de erosión hídrica y en menor proporción la erosión eólica, se observan pequeños surcos y cárcavas. Pérdida de cobertura vegetal por sobrepastoreo y uso

antrópico.

Características de los suelos: Unidad situada en promedio a 3.970 msnm., con pendientes que fluctúan de 5 a 10 %; el microrelieve es irregular, la M.O. es fibrica, el drenaje superficial es lento y el drenaje interno es moderadamente rápido. La profundidad efectiva de los suelos es moderadamente profunda (50 -100 cm.) con pocos (2 – 5 %) a comunes (5 – 15%) fragmentos; el color en húmedo es pardo amarillento oscuro en la capa arable, pardo y pardo fuerte en los horizontes inferiores; la textura en todos los horizontes es uniforme es franco arcillo arenosa, estructura bloques sub angulares, muy débiles a moderados, medios; ligeramente duro en seco, friable a firme en húmedo; ligeramente adherente a adherente y ligeramente plástico. El pH es débilmente alcalino, no se observan signos de salinidad, la C.E. es baja, los niveles de M.O. y N son muy bajos, el contenido de K es muy alto; el P es bajo a muy bajo; el Na es muy alto.

Typic Haplosalids (Unidad de Terreno N° 104, Perfil N° 310); Nombre: Llanura de piedemonte de Yonza – Bella Vista



Localización: Situada en las comunidades de Yonza y Bella Vista y zonas aledañas, comprende una Llanura de piedemonte con pendientes ligeramente inclinadas a inclinadas.

Cobertura y/o Uso Actual de la Tierra: Matorral siempre verde, semideciduo, andino. Las especies más representativas son las tholas (*Parastrephia sp.* y otras) y paja brava (*Stipa frígida*). La mayor superficie es empleada en la ganadería extensiva de camélidos. Existe una importante área destinada a la actividad agrícola especialmente para el cultivo de quinua, la preparación de terreno es manual, la tecnología es tradicional con poca aplicación de fertilizantes químicos.

Problemas detectados: Suelos con procesos erosivos por acción del viento, también se observan pequeños surcos y cárcavas, poca cubierta vegetal por acción de la ganadería camélida e intervención antrópica.

Características de los suelos: La Unidad está situada, en promedio a 3.890 msnm, con pendientes que fluctúan de 5 a 10 %; el microrelieve es irregular, la materia orgánica (M.O.) es fibrica, el drenaje superficial es lento y el drenaje interno es moderadamente rápido. La profundidad efectiva de los suelos es moderadamente profunda (50 - 100 cm.) con pocos (2 – 5 %) fragmentos; el color en húmedo es pardo en el horizonte superior y pardo oscuro en el horizonte inferior; la textura franca es homogénea, en todos los horizontes, estructura bloques sub angulares, débiles, finos y medios; blando en seco, firme a friable en húmedo; ligeramente adherente y ligeramente plástico. El pH es débil a moderadamente alcalino, no se observan signos de salinidad, la C.E. es baja, los niveles de M.O. y N son muy bajos, el contenido de K es muy alto; el P es alto a moderado; el Calcio (Ca) es alto a muy alto.

En la Tabla N° 2, se muestra a manera de resumen las características generales de los sub Grupos.

Tabla N° 2. Características Generales de los Sub Grupos

Entisoles		Horizonte A cm	Textura	pH	C.E. dS/m	Ca	Mg	Na	K	C. total %	M.O. %	P mg/kg	R. B
U.T	Sub Grupos					cmol/kg							
4	Typic Ustipsamments	0 - 21	Areno francoso	6,4	0,57	1,1	0,9	0,13	0,44	0,35	0,6	7	15,67
45	Typic Ustipsamments	0 - 22	Areno francoso	6,7	0,48	2,7	2,1	0,21	0,85	0,29	0,5	7	13,29
84	Typic Ustipsamments	0 - 23	Areno francoso	8,3	1,05	8,4	1,1	0,16	0,31	0,35	0,6	10	15,67
25	Aridic Ustipsamments	0 - 27	Areno francoso	7,8	0,58	5,4	1,5	0,13	0,46	0,23	0,4	4	9,00
38	Aridic Ustipsamments	0 - 27	Areno francoso	7,8	0,58	5,4	1,5	0,13	0,46	0,23	0,4	4	9,00
54	Aridic Ustipsamments	0 - 29	Arenoso	8,5	1,18	17,2	1,4	0,4	0,61	0,12	0,2	4	13,29
75	Typic Torripsamment	0 - 28	Areno francoso	7	0,15	0,9	0,6	0,13	0,38	0,12	0,2	6	10,11
108	Typic Torripsamment	0 - 14	Areno francoso	6,5	0,1	0,8	0,7	0,07	0,24	0,12	0,2	7	9,00
113	Typic Quartzipsamments	0 - 17	Areno francoso	7,9	1,48	9,6	1	0,21	0,7	0,29	0,5	8	10,11
74	Typic Quartzipsamments	0 - 22	Arenoso	7,8	0,99	2,9	0,5	0,13	0,35	0,12	0,2	8	15,67
26	Typic Quartzipsamments	0 - 30	Franco arenoso	6,6	0,53	1,4	0,8	0,16	0,47	0,47	0,8	9	9,00
37	Typic Quartzipsamments	0 - 30	Franco arenoso	6,6	0,53	1,4	0,8	0,16	0,47	0,47	0,8	9	9,00
16	Typic Ustorthents	0 - 25	Franco arenoso	7,9	1,09	4,5	0,6	0,16	0,53	0,58	1	6	8,09
43	Typic Ustorthents	0 - 20	Franco arenoso	8,8	9,43	23,2	0,5	1,5	1,21	0,35	0,6	13	4,26
44	Typic Ustorthents	0 - 26	Franco arenoso	6,9	0,47	2,6	1,8	0,25	0,64	0,35	0,6	18	9,00
81	Typic Ustorthents	0 - 16	Franco arenoso	7,5	0,53	2,4	1	0,21	0,72	0,35	0,6	7	10,11
88	Typic Ustorthents	0 - 16	Franco arenoso	8	1,03	11,9	0,9	0,25	0,64	0,58	1	7	8,09
55	Aridic Ustorthents	0 - 26	Franco arenoso	8,5	2,16	14,8	1,5	0,9	0,93	0,35	0,6	4	9,00
98	Aridic Ustorthents	0 - 17	Franco arenoso	8,1	1,01	10,8	0,8	0,2	0,6	0,47	0,8	6	9,00
87	Aridic Quartzipsamments	0 - 35	Franco arenoso	8,4	1,33	7,1	1,1	1,28	2,16	0,23	0,4	5	10,11
64	Lithic Torriorthent	0 - 11	Franco arenoso	5	0,36	1,9	1	0,16	0,66	1,63	2,8	23	5,67
114	Lithic Torriorthent	0 - 11	Franco arenoso	7,3	0,35	6,2	4,2	0,29	0,6	0,35	0,6	7	9,00

Inceptisoles		Horizonte A cm	Textura	pH	C.E. dS/m	Ca	Mg	Na	K	C. total %	M.O. %	P mg/kg	R. B
U.T.	Sub Grupos					cmol/kg							
2	Typic Haplustepts	0 - 36	Areno francoso	6,6	0,42	1,1	0,6	0,11	0,46	0,29	0,5	11	13,29
23	Typic Haplustepts	0 - 28	Franco arenoso	7,2	1,04	3,3	3,1	0,62	0,91	0,41	0,7	10	5,67
83	Typic Haplustepts	0 - 21	Areno francoso	6	1,44	1,1	0,6	0,16	0,5	0,41	0,7	18	15,67
91	Typic Eutrochrepts	0 - 11	Franco arenoso	5	0,36	1,9	1	0,16	0,66	1,63	2,8	23	5,70
103	Typic Eutrochrepts	0 - 8	Franco arenoso	8,5	0,7	4,2	3,6	0,86	1,3	0,35	0,6	5	5,67

Aridisoles		Horizonte A cm	Textura	pH	C.E. dS/m	Ca	Mg	Na	K	C. total %	M.O. %	P mg/kg	R. B
U.T.	Sub Grupos					cmol/kg							
21	Typic Camborthid	0 - 14	Franco arenoso	6,9	0,4	1,8	1,5	0,26	1,18	0,29	0,5	21	5,67
39	Typic Camborthid	0 - 12	Franco arcilloso	6,8	0,4	10,7	9,6	0,66	1,5	0,64	1,1	15	3,20
47	Typic Camborthid	0 - 9	Franco arcilloso	8,4	1,1	4,1	2,6	2,46	2,25	0,41	0,7	10	2,40
69	Typic Camborthid	0 - 18	Franco arenoso	6,2	0,49	1,4	1	0,17	0,55	0,41	0,7	12	9,00
110	Typic Camborthid	0 - 23	Franco arenoso	5,9	0,4	2,7	1	0,15	0,92	1,51	2,6	30	10,10
105	Typic Camborthid	0 - 17	Arcillo arenoso	9,1	1,1	18,4	1,3	0,71	0,24	0,58	1	1	1,70
49	Typic Calciorthid	0 - 24	Areno francoso	9,1	1,02	6,9	0,8	0,29	0,91	0,12	0,2	4	11,50
109	Typic Calciorthid	0 - 21	Franco	9,1	0,89	16	1,8	0,57	1,44	0,47	0,8	5	4,56
104	Typic Haplosalids	0 - 22	Franco	7,6	1,68	12,6	1,9	0,54	2,12	1,16	2	21	3,55

Fuente. Elaboración propia con datos de FAUTAPO, 2008.

Parámetros e Indicadores

La información edafológica, consistente en parámetros físicos y químicos de los suelo ubicados en Llanuras de piedemonte, fueron tomados del trabajo realizado por FAUTAPO (2008) y consistió en

analizar por unidad cartográfica la textura, estructura, profundidad efectiva, la capacidad de campo y punto de marchites permanente según la metodología propuesta por el Soil Survey Staff (1993), FAO (1990), y Sánchez (1974). El pH, contenido de cationes y aniones, nitrógeno, carbono orgánico total, fósforo y potasio, según la metodología propuesta por Cochrane (1970), Villarroel (1988).

Un indicador es una variable que resume o simplifica información relevante de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelos, haciendo que un fenómeno o condición de interés se haga perceptible y que cuantifica, mide y comunica, en forma comprensible, información relevante.

Los indicadores deben ser preferiblemente variables cuantitativas, aunque pueden ser cualitativas o nominales o de rango u ordinales, especialmente cuando no hay disponibilidad de información cuantitativa, o el atributo no es cuantificable, o cuando los costos para cuantificar son demasiado elevados. Las principales funciones de los indicadores son: evaluar condiciones o tendencias, comparar transversalmente sitios o situaciones, para evaluar metas y objetivos, proveer información preventiva temprana y anticipar condiciones y tendencias futuras Doran & Parkin (1994, 1996) y Doran *et al.* (1996).

Los indicadores utilizados tienen una base cartográfica, para que a partir de ella sea factible el análisis en el espacio y en el tiempo. La cartografía de base fue el mapa de unidades taxonómicas a nivel de subgrupos realizada por FAUTAPO (2008), siguiendo la metodología de la Soil Survey Staff (1993) y actualizada con la Soil Survey Staff (2006).

RESULTADOS

Para conocer y evaluar la calidad de los suelos de las Llanuras de Piedemonte, se agruparon estos por Orden taxonómico, y de ellos se eligieron las variables más relevantes de entre sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Teniendo en cuenta que el número de indicadores debe ser mínimo y considerando la disponibilidad de la información, se definieron los indicadores que se muestran en la Tabla N° 3.

Tabla N° 3. Indicadores de Calidad de Suelos, Unidades de Medida, Valores Máximos y Mínimos Definidos para los Suelos de las Llanuras de Piedemonte

Indicador	Unidad de Medida	Valor máximo			Valor Mínimo		
		Entisoles	Inceptisoles	Aridisoles	Entisoles	Inceptisoles	Aridisoles
Profundidad horizonte A	Cm	35	36	24	0	0	0
Densidad aparente	gr/cm ³	1,68	1,66	1,64	1,47	1,50	1,38
Agua disponible	cm ³ agua/cm ³ suelo	0,1	0,09	0,15	0,07	0,08	0,08
Ph		8,8	8,5	9,1	5	5	5,9
Conductividad eléctrica	dS/m	9,43	1,44	1,68	0,10	0,36	0,40
Porcentaje sodio intercambiable	%	11,00	8,3	21,56	1,60	4,30	2,88
Total cationes Intercambiables	cmol/kg	26,41	9,96	22,46	1,81	2,27	3,12
Carbono orgánico	%	1,63	1,63	1,51	0,12	0,29	0,12

Para la obtención de un valor único de cada parámetro, se tomo en consideración el valor logrado por cada orden de suelo Luego los indicadores fueron normalizados utilizando una escala 0 a 1 que representan, respectivamente, la peor y mejor condición desde el punto de vista de la calidad, independientemente de los valores absolutos medidos para cada indicador. Existen dos situaciones posibles: Primera, cuando el valor máximo del indicador (I_{max}) corresponde a la mejor situación de calidad de suelo (Valor normalizado del indicador: $V_n = 1$) y $V_n = I_m - I_{min} / I_{max} - I_{min}$. Segunda, cuando el valor I_{max} corresponde a la peor situación de calidad de suelo ($V_n = 0$) y se calcula como: $V_n = 1 - (I_m - I_{min} / I_{max} - I_{min})$. Donde V_n = valor normalizado, I_m = medida del indicador, I_{max} = valor máximo del indicador, I_{min} = valor mínimo del indicador.

Los valores máximos y mínimos fueron establecidos de diferentes formas para cada indicador. Para algunos atributos, especialmente para las condiciones óptimas, se tuvieron en cuenta umbrales calculados a partir de los valores de los suelos de referencia mientras que en otros se utilizaron criterios teóricos.

Para las variables físicas, se consideraron como indicadores: 1) Espesor del horizonte A, cuyo máximo espesor correspondió al medido en promedio en los suelos de referencia (mejor situación), mientras que el mínimo se estableció como cero, 2) Densidad aparente, el valor mínimo correspondió al promedio de los valores medidos en los suelos de referencia (mejor situación) y el máximo a los valores máximos medidos en la región; 3) Agua disponible, para lo cual se tomó como mínimos y máximos (mejor situación) los valores medidos en campo.

Para las variables químicas, se consideraron como indicadores: 1) pH, ya que la región es semiárida – árida, el valor máximo fue establecido considerando el punto de toxicidad para el desarrollo de la mayoría de los cultivos de la zona, es decir se tomó el mayor valor medido en campo y el mínimo de calidad correspondió al medido en campo más próximo al pH neutro (Soil Survey Staff, 1993, 2006); 2) Conductividad eléctrica, el valor máximo y mínimo (mejor situación) correspondió a los valores medidos en campo; 3) Porcentaje de sodio intercambiable, considerando como valores mínimos (mejor situación) y máximos, los obtenidos en campo; 4) Total de cationes intercambiable, se consideró que valores menores a 7 cmol(+)/kg corresponden a suelos de baja fertilidad, de 7-15 cmol(+)/kg a suelos de fertilidad media, y más de 15 cmol(+)/l a suelos de alta fertilidad (Villarroel, 1988). Por lo tanto se asumió el valor máximo (mejor situación) y el mínimo de los respectivos datos de campo.

Respecto a variables biológicas, se consideró el porcentaje de carbono orgánico en los suelos, tomando como valores mínimos y máximos, los medidos en los suelos de referencia.

Finalmente, se estableció un índice de calidad de suelos (ICS) promediando los valores de todos los indicadores. Para la interpretación del ICS se utilizó una escala de transformación en cinco clases de calidad de suelo, ver Tabla N° 4.

Tabla N° 4. Clases de Calidad de Suelos.

Índice de calidad de suelos	Escala	Clase
Muy alta	0,80 a 1,00	1
Alta	0,60 a 0,79	2
Moderada	0,40 a 0,59	3
Baja	0,20 a 0,39	4
Muy baja	0,00 a 0,19	5

A tiempo de hacer el análisis de las unidades taxonómicas, se revisó y actualizó la clasificación según las Claves para la Taxonomía de Suelos USDA-NCRS 10° Edición 2006, ya que la información estaba clasificada en función de la versión Soil Survey Division Staff. USDA 1993, ver Tabla N° 5 y se ubican en anexo.

Tabla N° 5. Clasificación Actualizada de las Unidades Taxonómicas

Unidad de Terreno	Sub Grupo Taxonómico	Sub Grupo Taxonómico Claves para la taxonomía de suelos USDA-NCRS 10° Edición 2006
4	Typic_Ustipsamments	Typic Ustipsamments
45	Typic_Ustipsamments	Typic Ustipsamments
84	Typic_Ustipsamments	Typic Ustipsamments
25	Aridic_Ustipsamments	Aridic Ustipsamments
38	Aridic_Ustipsamments	Aridic Ustipsamments
54	Aridic_Ustipsamments	Aridic Ustipsamments
75	Typic_Torripsamment	Typic Torripsamments
108	Typic_Torripsamment	Typic Torripsamments
113	Typic_Quartzipsamments	Typic Quartzipsamments
74	Typic_Quartzipsamments	Typic Quartzipsamments

Unidad de Terreno	Sub Grupo Taxonómico	Sub Grupo Taxonómico Claves para la taxonomía de suelos USDA-NCRS 10ª Edición 2006
26	Typic_Quartzipsamments	Typic Quartzipsamments
37	Typic_Quartzipsamments	Typic Quartzipsamments
16	Typic_Ustorthents	Typic Ustorthents
43	Typic_Ustorthents	Typic Ustorthents
44	Typic_Ustorthents	Typic Ustorthents
81	Typic_Ustorthents	Typic Ustorthents
88	Typic_Ustorthents	Typic Ustorthents
55	Aridic_Ustorthents	Aridic Ustorthents
98	Aridic_Ustorthents	Aridic Ustorthents
87	Aridic_Quartzipsamments	Typic Quartzipsamments
64	Lithic_Torriorthent	Lithic Torriorthents
114	Lithic_Torriorthent	Lithic Torriorthents
2	Typic_Haplustepts	Typic Haplustepts
23	Typic_Haplustepts	Typic Haplustepts
83	Typic_Haplustepts	Typic Haplustepts
91	Typic_Eutrochrept	Typic Haplustepts
103	Typic_Eutrochrept	Typic Haplustepts
21	Typic_Camborthid	Typic Haplocambids
39	Typic_Camborthid	Typic Calciorhids
47	Typic_Camborthid	Typic Natrargids
69	Typic_Camborthid	Typic Haplocambids
110	Typic_Camborthid	Typic Haplocambids
105	Typic_Camborthid	Typic Calciorhids
49	Typic_Calciorhithid	Typic Haplocambids
109	Typic_Calciorhithid	Typic Caciorthids
104	Typic_Haplosalids	Typic Calciorhids

A nivel de Orden Entisoles, los indicadores normalizados, en promedio nos muestran valores bajos en bases intercambiable y carbono total, lo que evidencia el baja disponibilidad de nutrientes y materia orgánica; mientras que los mayores valores alcanzaron la conductividad eléctrica y el porcentaje de sodio intercambiable, demostrándonos los bajos niveles de salinidad y sodicidad en el complejo; el pH en general es muy variable, sin embargo, el valor promedio es moderado, lo que denota condiciones moderadamente alcalinas; la densidad aparente y el agua disponible, presentan valores moderados, equivalentes a condiciones de baja disponibilidad de agua.

Sin embargo, entre Sub grupos los indicadores presentan diferencias interesantes: en los suelos del Sub grupo Typic Ustipsamments, la densidad aparente, carbono total y bases intercambiables, presentan valores bajos a muy bajos; la CE y el PSI presentan valores altos, y los otros indicadores se manifiestan con valores intermedios, denotando las condiciones texturales arenosas. Los suelos de Sub grupo Aridic Ustipsamments, resaltan por presentan valores muy bajos de bases intercambiables y carbono total. Los suelos del Sub Grupo Typic Torripsamments, denotan por los valores mínimos extremos de carbono total y bases intercambiables. Los suelos del Sub grupo Typic Quartzipsamments, presentan bajos valores de carbono total y bases intercambiables, y bajos a moderados valores de agua disponible; además, uno de ellos presenta la peor condición de sodio intercambiable. Los suelos del Sub grupo Typic Ustorthents, presentan valores altos y moderados de agua disponible, los valores más bajos pH y CE, que denotan condiciones de alcalinidad. Los suelos del Sub grupo Aridic Ustorthents, presenta valores bajos de bases intercambiables, y los otros indicadores con valores moderados a altos. Los suelos del Sub grupo Lithic Torriorthents, presentan valores bajos de profundidad y carbono total, mientras que los otros indicadores son muy variables. En la Tabla N° 6 se presentan los valores normalizados de los indicadores calculados para los suelos del Orden Entisoles.

Tabla N° 6. Indicadores Normalizados para los Suelos del Orden Entisoles

Unidad de Terreno	Sub Grupo Taxonómico	Profundidad	Da	Agua disponible	pH	CE	PSI	Carbono total	Bases intercambiables
4	Typic Ustipsamments	0.60	0.05	0.33	0.63	0.95	0.63	0.03	0.15
45	Typic Ustipsamments	0.63	0.19	0.67	0.55	0.96	0.79	0.16	0.11
84	Typic Ustipsamments	0.66	0.05	0.33	0.13	0.90	1.00	0.33	0.15
25	Aridic Ustipsamments	0.77	0.43	0.33	0.26	0.95	0.99	0.23	0.07
38	Aridic Ustipsamments	0.77	0.43	0.33	0.26	0.95	0.99	0.23	0.07
54	Aridic Ustipsamments	0.83	0.10	0.00	0.08	0.88	0.95	0.72	0.00
75	Typic Torripsamments	0.80	0.29	0.33	0.47	0.99	0.48	0.01	0.00
108	Typic Torripsamments	0.40	0.38	0.00	0.61	1.00	0.76	0.00	0.00
113	Typic Quartzipsamments	0.49	0.33	0.33	0.24	0.85	0.98	0.39	0.11
74	Typic Quartzipsamments	0.63	0.00	0.00	0.26	0.90	0.81	0.08	0.00
26	Typic Quartzipsamments	0.86	0.48	0.67	0.58	0.95	0.57	0.04	0.23
37	Typic Quartzipsamments	0.86	0.48	0.67	0.58	0.95	0.57	0.04	0.23
87	Typic Quartzipsamments	0.86	0.48	0.67	0.58	0.95	0.57	0.04	0.23
16	Typic Ustorthents	0.71	0.57	1.00	0.24	0.89	0.88	0.16	0.30
43	Typic Ustorthents	0.57	1.00	0.33	0.00	0.00	0.57	1.00	0.15
44	Typic Ustorthents	0.74	0.48	0.67	0.50	0.96	0.67	0.14	0.15
81	Typic Ustorthents	0.46	0.38	0.67	0.34	0.95	0.65	0.10	0.15
88	Typic Ustorthents	0.46	0.62	1.00	0.21	0.90	0.98	0.48	0.30
55	Aridic Ustorthents	0.74	0.52	0.67	0.08	0.78	0.64	0.66	0.15
98	Aridic Ustorthents	1.00	0.43	1.00	0.11	0.87	0.00	0.40	0.07
64	Lithic Torriorthents	0.31	0.81	0.67	1.00	0.97	0.71	0.08	1.00
114	Lithic Torriorthents	0.31	0.57	1.00	0.39	0.97	0.90	0.39	0.15
	Promedio	0.66	0.41	0.53	0.37	0.89	0.73	0.26	0.17

Respecto a los indicadores de los suelos del Orden Inceptisoles, los valores promedio más bajos corresponden al carbono total y bases intercambiables; mientras que los otros indicadores se manifiestan con valores intermedios, pero con gran variabilidad.

El Orden Inceptisoles, presenta solo un Sub Grupo, el Typic Haplustepts, manifiesto en 5 unidades de terrenos diferentes, así por ejemplo: Las UTs 23, 91 y 103 presentan los mayores valores de agua disponible. La UT 91 presenta mayores valores de densidad aparente, pH, C.E. y PSI, que denotan condiciones de ligera acides, baja salinidad y sodicidad. La UT 103, muestra valores bajos de pH y PSI denotando mayor alcalinidad y concentración de sodio, en cambio, las bases intercambiables se muestran con valor máximo. Los valores normalizados para la profundidad, pH, C.E., y PSI, son muy variables entre las UTs.

En la Tabla N° 7 se presentan los valores normalizados de los indicadores calculados para los suelos del Orden Inceptisoles.

Tabla N° 7. Indicadores para los Suelos del Orden Inceptisoles

Unidad de Terreno	Sub Grupo Taxonómico	Profundidad	Da	Agua disponible	pH	CE	PSI	Bases intercambiables	Carbono total
2	Typic Haplustepts	1.00	0.06	0.00	0.54	0.94	0.87	0.00	0.00
23	Typic Haplustepts	0.71	0.94	1.00	0.37	0.37	0.19	0.74	0.09
83	Typic Haplustepts	0.46	0.00	0.00	0.71	0.00	0.43	0.01	0.09
91	Typic Haplustepts	0.11	0.94	1.00	1.00	1.00	1.00	0.19	1.00
103	Typic Haplustepts	0.00	1.00	1.00	0.00	0.69	0.00	1.00	0.04
	Promedio	0.46	0.59	0.60	0.53	0.60	0.50	0.39	0.24

En el caso de los suelos del Orden Aridisoles, los indicadores promediados presentan valores normalizados bajos principalmente en agua disponible, carbono total y bases intercambiables, y valores intermedios para el resto de los indicadores.

Entre los 3 Sub grupos del mismo Orden existen diferencias notorias. El Sub grupo Typic Haplocambids, presenta valores variables de profundidad, pH y carbono total, valores bajos respecto a densidad aparente, agua disponible y bases intercambiables. El Sub Grupo Typic Calciorrhids, presentan los menores valores de sodio intercambiable, mayores valores de bases intercambiables, y valores variables de pH y CE sin que esto signifique que sean suelos salinos y/o sódicos, además la profundidad efectiva y la densidad aparente presenta valores estables. El Sub grupo Typic Natrargids, presenta valores bajos de PSI, pH yCE, que denotan condiciones de sodicidad y poca profundidad del horizonte A.

En la Tabla N° 8 se presentan los valores normalizados de los indicadores calculados para los suelos del Orden Aridisoles.

Tabla N° 8. Indicadores para los Suelos del Orden Aridisoles

Unidad de Terreno	Sub Grupo Taxonómico	Profundidad	Da	Agua disponible	pH	CE	PSI	Bases intercambiables	Carbono total
21	Typic Haplocambids	0.33	0.54	0.29	0.69	1.00	0.86	0.08	0.12
69	Typic Haplocambids	0.60	0.23	0.14	0.91	0.93	0.86	0.00	0.21
110	Typic Haplocambids	0.93	0.23	0.43	1.00	1.00	0.99	0.09	1.00
49	Typic Haplocambids	1.00	0.00	0.00	0.00	0.52	0.98	0.30	0.00
39	Typic Calciorrhids	0.20	0.85	0.14	0.72	1.00	1.00	1.00	0.37
109	Typic Caciorrhids	0.80	0.69	0.43	0.00	0.62	1.00	0.86	0.25
104	Typic Calciorrhids	0.87	1.00	1.00	0.47	0.00	0.99	0.73	0.75
105	Typic Calciorrhids	0.53	1.00	0.14	0.00	0.45	0.97	0.91	0.33
47	Typic Natrargids	0.00	1.00	0.29	0.22	0.45	0.00	0.43	0.21
	Promedio	0.59	0.62	0.32	0.44	0.66	0.85	0.49	0.36

El índice de calidad del suelo, calculado mediante el uso de un set mínimo de indicadores (ver Tabla N° 6) para los Sub grupos de los Ordenes Entisoles, Inceptisoles y aridisoles, se muestran en las Tablas N° 9, 10 y 11. Las clases identificadas (ver Tabla N° 4) varían desde: Alta, Moderada y Baja. Sin embargo, existe un predominio de la clase moderada, su ubicación se muestra en anexo.

Tabla N° 9. Índice de Calidad de Suelos, Orden Entisoles

Unidad de Terreno	Orden Entisoles	ICS	Clase
	Sub Grupo Taxonómico		
4	Typic Ustipsamments	0.42	3. Moderada
45	Typic Ustipsamments	0.51	3. Moderada
84	Typic Ustipsamments	0.44	3. Moderada
25	Aridic Ustipsamments	0.50	3. Moderada
38	Aridic Ustipsamments	0.50	3. Moderada
54	Aridic Ustipsamments	0.45	3. Moderada
75	Typic Torripsamments	0.42	3. Moderada
108	Typic Torripsamments	0.39	4. Baja
113	Typic Quartzipsamments	0.47	3. Moderada
74	Typic Quartzipsamments	0.34	4. Baja
26	Typic Quartzipsamments	0.55	3. Moderada
37	Typic Quartzipsamments	0.55	3. Moderada
87	Typic Quartzipsamments	0.48	3. Moderada

Unidad de Terreno	Orden Entisoles	ICS	Clase
	Sub Grupo Taxonómico		
16	Typic Ustorthents	0.59	3. Moderada
43	Typic Ustorthents	0.45	3. Moderada
44	Typic Ustorthents	0.54	3. Moderada
81	Typic Ustorthents	0.46	3. Moderada
88	Typic Ustorthents	0.62	2. Alta
55	Aridic Ustorthents	0.53	3. Moderada
98	Aridic Ustorthents	0.65	2. Alta
64	Lithic Torriorthents	0.69	2. Alta
114	Lithic Torriorthents	0.59	3. Moderada

Tabla N° 10. Índice de Calidad de Suelos, Orden Inceptisoles

Unidad de Terreno	Orden Inceptisoles	ICS	Clase
	Sub Grupo Taxonómico		
2	Typic Haplustepts	0.43	3. Moderada
23	Typic Haplustepts	0.55	3. Moderada
83	Typic Haplustepts	0.21	4. Baja
91	Typic Haplustepts	0.78	2. Alta
103	Typic Haplustepts	0.47	3. Moderada

Tabla N° 11. Índice de Calidad de Suelos, Orden Aridisoles

Unidad de Terreno	Orden Aridisoles	ICS	Clase
	Sub Grupo Taxonómico		
21	Typic Haplocambids	0.49	3. Moderada
69	Typic Haplocambids	0.49	3. Moderada
110	Typic Haplocambids	0.71	2. Alta
49	Typic Haplocambids	0.35	4. Baja
39	Typic Calciorhids	0.66	2. Alta
105	Typic Calciorhids	0.55	3. Moderada
109	Typic Caciorthids	0.58	3. Moderada
104	Typic Calciorhids	0.72	2. Alta
47	Typic Natrargids	0.32	4. Baja

ANALISIS ESTADISTICO DE LOS SUELOS

Orden Entisoles

Se está investigando acerca de las propiedades, características, y/o variables que hacen a los indicadores de calidad de 22 Sub grupos de suelos. Se espera que los distintos indicadores se manifiesten de forma diferente dependiendo del tipo de suelo. Para el presente caso se tomo en cuenta ocho tipos de suelos y ocho indicadores de calidad del suelo que se identificarán como: A, B, C, D, E, F, G y H. En este sentido, se tienen dos factores (suelo e indicadores de calidad) con 8 niveles cada uno correspondiente al Orden Entisoles, del cual resultan 176 combinaciones. Los resultados se muestran en la Tabla N° 12.

Considerando que la investigación se refiere a indicadores de calidad de suelos, la elección de una prueba estadística adecuada para su consiguiente análisis e interpretación de resultados, fue realizada tomado en cuenta: la prueba del Análisis de Varianza de dos vías (definición de hipótesis, nivel de significación, cálculos y resultados), y el Coeficiente de Variación, ver desarrollo siguiente y Tablas N° 13, 14, 15, 16:

Tabla N° 12. Sub grupos Taxonómicos e Indicadores de Suelos del Orden Entisoles

Unidad de Terreno	Sub Grupo Taxonómico	Indicadores								Total	ICS (*)
		Profundidad (A)	Da (B)	Agua disponible (C)	pH (D)	CE (E)	PSI (F)	Bases intercambiables (G)	Carbono total (H)		
4	Typic Ustipsamments	0,60	0,05	0,33	0,63	0,95	0,63	0,03	0,15	3,38	0,42
45	Typic Ustipsamments	0,63	0,19	0,67	0,55	0,96	0,79	0,16	0,11	4,06	0,51
84	Typic Ustipsamments	0,66	0,05	0,33	0,13	0,90	1,00	0,33	0,15	3,55	0,44
25	Aridic Ustipsamments	0,77	0,43	0,33	0,26	0,95	0,99	0,23	0,07	4,03	0,50
38	Aridic Ustipsamments	0,77	0,43	0,33	0,26	0,95	0,99	0,23	0,07	4,03	0,50
54	Aridic Ustipsamments	0,83	0,10	0,00	0,08	0,88	0,95	0,72	0,00	3,56	0,45
75	Typic Torripsamments	0,80	0,29	0,33	0,47	0,99	0,48	0,01	0,00	3,38	0,42
108	Typic Torripsamments	0,40	0,38	0,00	0,61	1,00	0,76	0,00	0,00	3,15	0,39
113	Typic Quartzipsamments	0,49	0,33	0,33	0,24	0,85	0,98	0,39	0,11	3,72	0,47
74	Typic Quartzipsamments	0,63	0,00	0,00	0,26	0,90	0,81	0,08	0,00	2,69	0,34
26	Typic Quartzipsamments	0,86	0,48	0,67	0,58	0,95	0,57	0,04	0,23	4,37	0,55
37	Typic Quartzipsamments	0,86	0,48	0,67	0,58	0,95	0,57	0,04	0,23	4,37	0,55
87	Typic Quartzipsamments	0,86	0,48	0,67	0,58	0,95	0,57	0,04	0,23	4,37	0,55
16	Typic Ustorthents	0,71	0,57	1,00	0,24	0,89	0,88	0,16	0,30	4,76	0,59
43	Typic Ustorthents	0,57	1,00	0,33	0,00	0,00	0,57	1,00	0,15	3,62	0,45
44	Typic Ustorthents	0,74	0,48	0,67	0,50	0,96	0,67	0,14	0,15	4,31	0,54
81	Typic Ustorthents	0,46	0,38	0,67	0,34	0,95	0,65	0,10	0,15	3,71	0,46
88	Typic Ustorthents	0,46	0,62	1,00	0,21	0,90	0,98	0,48	0,30	4,95	0,62
55	Aridic Ustorthents	0,74	0,52	0,67	0,08	0,78	0,64	0,66	0,15	4,25	0,53
87	Typic Quartzipsamments	1,00	0,43	1,00	0,11	0,87	0,00	0,40	0,07	3,87	0,48
64	Lithic Torriorthents	0,31	0,81	0,67	1,00	0,97	0,71	0,08	1,00	5,55	0,69
114	Lithic Torriorthents	0,31	0,57	1,00	0,39	0,97	0,90	0,39	0,15	4,69	0,59
	TOTAL	14,46	9,05	11,67	8,11	19,50	16,07	5,74	3,81	88,41	
	PROMEDIO	0,66	0,41	0,53	0,37	0,89	0,73	0,26	0,17		0,50

Análisis de varianza

a) Planteamiento de hipótesis (Respecto del Orden Entisoles)

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_a$

$H_1 : \text{Al menos dos difieren}$

Respecto de los indicadores de calidad:

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_b$

$H_1 : \text{Al menos dos difieren}$

b) Nivel de significancia

$\alpha = 0,05$

c) Proceso de calculo

Tabla N° 13. Fórmulas para el Cálculo de ANVA

Factores	Formulas	Resultado
Factor de corrección	$Fc = (\sum x_{ij}^2) / ab = x_{..}^2 / ab$	44,407
Suma cuadrado total	$Sct = \sum x_{ij}^2 - fc$	18,971
Suma cuadrado subgrupos	$Scs = (x_{1.}^2 + x_{2.}^2 + \dots + x_{a.}^2) / b - fc$	1,108
Suma cuadrado indicadores	$Sci = (x_{.1} + x_{.2} + \dots + x_{.b}) / a - fc$	9,178
Error residual	$Er = sct - (scs + sci)$	8,684

Donde:

FC = Factor de corrección

SCT = Suma de cuadrado total

SCS = Suma de cuadrado de subgrupos de suelos

SCI = Suma de cuadrado de indicadores de calidad de suelo

ER = Error residual

X_{ij} = Valor observado en la i – esima fila de la j – esima columna

a = Numero de subgrupos de suelo

b = Numero de indicadores de calidad de suelo

$X_{a.}$ = Sumatoria total de la suma de valores de cada subgrupo

$X_{.b}$ = Sumatoria total de la suma de valores de cada indicador

Tabla N° 14. ANVA de Sub grupos Taxonómicos e ICS

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fc	Fo
Sub grupos de suelos	21	1,108	0,05	0,89	1,63
Indicadores	7	9,178	1,31	22,19	2,07
Error residual	147	8,684	0,06		
Total	175	18,971			

d) Regla de decisión

Si $F_c < F_o$, entonces se acepta la H_0 .

e) Interpretación de Resultados ANVA

A partir de los resultados que arroja el análisis de varianza, se establece que a un nivel de significación de "alfa = 0,05" y un nivel de confianza del 95 %, no hay diferencia significativa entre los niveles de subgrupos de suelos ($F_c = 0.05 < F_o = 1,63$), esto puede atribuirse a que los subgrupos de suelos en su estructura y composición son relativamente homogéneas dado que se enmarcan en la categoría de suelos del mismo orden. Sin embargo, en el caso de los indicadores de calidad de suelo, se observa diferencias significativas entre indicadores, el mismo que se puede imputar a la variabilidad de los resultados que arroja para cada indicador, esta situación se asevera dado que $F_c = 22,19$ es $> F_o = 2,07$. Lo reciente puede atribuirse a las condiciones de uso y manejo a los cuales están sujetos estos suelos.

Coefficiente de Variación

Entre otras medidas utilizadas para establecer si existe variación en cuanto a la estructura y/o composición de los subgrupos de suelos así como de los diferentes indicadores de calidad de suelo, se utilizó el coeficiente de variación y cuyo cálculo se basó en la determinación de las medias y desviaciones estándar de cada uno de los subgrupos de suelos, así como de los diferentes indicadores incorporados en el análisis, ver Tablas N° 15 y 16.

a) Planteamiento del cálculo de parámetros (Respecto del orden de Entisoles)

Tabla N° 15. Fórmulas para el Cálculo del CV

Descripción	Formula
Media	$\bar{x} = \sum x_i / n$
Desviación estándar	$s = \sqrt{\sum (\bar{x}_i - \bar{x})^2 / (n - 1)}$
Coefficiente de variación	$CV = (\bar{s} / \bar{x}) * 100$

Tabla N° 16. C.V. de Subgrupos Taxonómicos e ICS

Unidad de Terreno	Sub Grupo Taxonómico	Profundidad (A)	Da (B)	Agua disponible (C)	pH (D)	CE (E)	PSI (F)	Carbo no total (G)	Bases Intercam (H)	ICS	Desv. Estándar	Coef. de Variación
4	Typic Ustipsamments	0,60	0,05	0,33	0,63	0,95	0,63	0,03	0,15	0,42	0,33	78,65
45	Typic Ustipsamments	0,63	0,19	0,67	0,55	0,96	0,79	0,16	0,11	0,51	0,32	62,22
84	Typic Ustipsamments	0,66	0,05	0,33	0,13	0,90	1,00	0,33	0,15	0,44	0,36	81,88
25	Aridic Ustipsamments	0,77	0,43	0,33	0,26	0,95	0,99	0,23	0,07	0,50	0,35	69,28
38	Aridic Ustipsamments	0,77	0,43	0,33	0,26	0,95	0,99	0,23	0,07	0,50	0,35	69,28
54	Aridic Ustipsamments	0,83	0,10	0,00	0,08	0,88	0,95	0,72	0,00	0,45	0,44	97,79
75	Typic Torripsamments	0,80	0,29	0,33	0,47	0,99	0,48	0,01	0,00	0,42	0,35	82,67
108	Typic Torripsamments	0,40	0,38	0,00	0,61	1,00	0,76	0,00	0,00	0,39	0,38	96,66
113	Typic Quartzipsamments	0,49	0,33	0,33	0,24	0,85	0,98	0,39	0,11	0,47	0,30	64,31
74	Typic Quartzipsamments	0,63	0,00	0,00	0,26	0,90	0,81	0,08	0,00	0,34	0,39	114,70
26	Typic Quartzipsamments	0,86	0,48	0,67	0,58	0,95	0,57	0,04	0,23	0,55	0,30	55,19
37	Typic Quartzipsamments	0,86	0,48	0,67	0,58	0,95	0,57	0,04	0,23	0,55	0,30	55,19

Unidad de Terreno	Sub Grupo Taxonómico	Profundidad (A)	Da (B)	Agua disponible (C)	pH (D)	CE (E)	PSI (F)	Carbón total (G)	Bases Intercambiables (H)	ICS	Desv. Estándar	Coef. de Variación
87	Typic Quartzipsamments	0,86	0,48	0,67	0,58	0,95	0,57	0,04	0,23	0,55	0,30	55,19
16	Typic Ustorthents	0,71	0,57	1,00	0,24	0,89	0,88	0,16	0,30	0,59	0,33	54,93
43	Typic Ustorthents	0,57	1,00	0,33	0,00	0,00	0,57	1,00	0,15	0,45	0,40	89,12
44	Typic Ustorthents	0,74	0,48	0,67	0,50	0,96	0,67	0,14	0,15	0,54	0,28	52,76
81	Typic Ustorthents	0,46	0,38	0,67	0,34	0,95	0,65	0,10	0,15	0,46	0,28	61,37
88	Typic Ustorthents	0,46	0,62	1,00	0,21	0,90	0,98	0,48	0,30	0,62	0,31	49,70
55	Aridic Ustorthents	0,74	0,52	0,67	0,08	0,78	0,64	0,66	0,15	0,53	0,27	50,45
87	Typic Quartzipsamments	1,00	0,43	1,00	0,11	0,87	0,00	0,40	0,07	0,48	0,42	86,78
64	Lithic Torriorthents	0,31	0,81	0,67	1,00	0,97	0,71	0,08	1,00	0,69	0,34	48,80
114	Lithic Torriorthents	0,31	0,57	1,00	0,39	0,97	0,90	0,39	0,15	0,59	0,33	56,11
	PROMEDIO	0,66	0,41	0,53	0,37	0,89	0,73	0,26	0,17	0,50	0,24	48,60
	DESV. ESTANDAR	0,19	0,24	0,32	0,24	0,20	0,24	0,27	0,21	0,08		
	COEF. DE VARIACION	28,84	58,99	60,29	66,02	23,09	32,18	101,91	118,67	16,17		

(*) ICS = Índice de calidad del suelo = Promedio de los indicadores

b) Interpretación de Resultados del Coeficiente de Variación

Según los resultados la Tabla precedente, el C.V. de los 8 indicadores expresan un grado de disgregación o esparcimiento bastante amplio del conjunto de las variables observadas respecto de su promedio. Entre las que muestran una amplia variabilidad, esta los indicadores referidos a Carbono Total con 118.67 % y luego está el indicador de Bases Intercambiables con 101.91 %; estos resultados expresan que hay una amplia variabilidad de los valores individuales observados respecto de sus promedios; también se evidencia a nivel de los otros indicadores una variación significativa como el pH, Agua disponible y Da, con 66,02 %, 60,29 % y 58,99 %, respectivamente.

A nivel del ICS, que es el promedio de los ocho indicadores de calidad de suelos, su CV alcanza a un 16.17 %, cuyo resultado muestra que la variabilidad de los promedios de los distintos índices en su conjunto respecto al promedio es moderada. En consecuencia, el índice de calidad de suelos, calculado para los Sub grupos del Orden Entisoles, podría decir que está influenciado por los bajos y altos valores de los distintos indicadores.

En el caso de los C.V. para los Sub grupos de suelos, una mayoría de estos presenta una variabilidad amplia que sobrepasan por encima del 60 %, entre las que mayor variación presenta, corresponde a los Sub grupos de Typic Quartzipsamments con 114,70 %, luego sigue Aridic Ustipsamments con el 97,79 %, Typic Torripsamments con el 96,66 %, posteriormente se encuentran los subgrupos de Typic Ustorthents, Typic Quartzipsamments, Typic Torripsamments y Typic Ustipsamments con 89.12 %, 86.78 %, 82.67 % y 81.88 %, respectivamente, el resto de los subgrupos se encuentra entre el 48 % y 78 %.

En ambos casos, se establece que hay una variabilidad amplia y significativa de los valores individuales observados respecto a su promedio, lo que equivale a señalar que hay una disgregación de las observaciones individuales respecto a sus promedios, unos más que otros como se observa para el caso de los indicadores de bases intercambiables y carbono total; así como en los diferentes Sub grupos de suelos objeto de estudio.

A efectos de precisar, los diferentes resultados obtenidos para los subgrupos e indicadores de calidad se ha tomado en cuenta los rangos de valores del C.V. establecidos por los investigadores, tal como se muestra en la Tabla N° 17. De acuerdo a esta clasificación de valores del C.V., se podría decir que los resultados de los indicadores y sub grupos de suelos están por encima del 25 % del C.V., que pueden dar como resultado unos efectos negativos tanto desde el punto de vista económico (disminución de rendimientos) como ambiental (emisión de carbono, salinización). Con excepción del ICS que se encuentra en el rango de $0 < CV < 15$ %.

Tabla N° 17. Interpretación de los Valores del Coeficiente de Variación

Ensayos en laboratorio	Interpretación	Pruebas de campo
0 < CV < 10%	Bueno – Muy bueno	0 < CV < 15%
10 < CV < 15%	Aceptable	15 < CV < 25%
> 15%	Malo – A desechar	> 25%

Orden Inceptisoles

Se está realizando una investigación acerca de diferentes propiedades, características y/o variables, que hacen a la calidad de suelos en 5 Unidades de tierra que corresponden a un mismo Sub grupo de suelos del Orden Inceptisoles. En este sentido, se espera que los distintos indicadores se manifiesten de forma diferente dependiendo del tipo de suelo. Para este caso, se tomo en cuenta cuatro tipos de suelo y ocho indicadores de calidad del suelo que se identificará A, B, C, D, E, F, G y H. Con base a estas consideraciones, se establece dos factores (suelo e indicadores de calidad) con 5 y 8 niveles respectivamente, del cual resultan 40 combinaciones. Los resultados se muestran en la Tabla N° 18.

Tabla N° 18. Sub grupos Taxonómicos e Indicadores de Suelos del Orden Inceptisoles

Unidad de Terreno	Sub Grupo Taxonómico	Indicadores								Total	ICS (*)
		Profundidad (A)	Da (B)	Agua disponible (C)	pH (D)	CE (E)	PSI (F)	Bases intercambiables (G)	Carbono total (H)		
2	Typic Haplustepts	1,00	0,06	0,00	0,54	0,94	0,87	0,00	0,00	3,42	0,43
23	Typic Haplustepts	0,71	0,94	1,00	0,37	0,37	0,19	0,74	0,09	4,41	0,55
83	Typic Haplustepts	0,46	0,00	0,00	0,71	0,00	0,43	0,01	0,09	1,71	0,21
91	Typic Haplustepts	0,11	0,94	1,00	1,00	1,00	1,00	0,19	1,00	6,23	0,78
103	Typic Haplustepts	0,00	1,00	1,00	0,00	0,69	0,00	1,00	0,04	3,73	0,47
	TOTAL	2,29	2,94	3,00	2,63	3,00	2,49	1,94	1,22	19,50	
	PROMEDIO	0,46	0,59	0,60	0,53	0,60	0,50	0,39	0,24		0,49

(*) ICS = Índice de calidad del suelo = Promedio de los indicadores

En función a los resultados de la tabla precedente, se ha procedido a la aplicación de la prueba de Análisis de Varianza de dos vías (definición de hipótesis, nivel de significación, cálculos y resultados), y el Coeficiente de Variación (C.V.), ver desarrollo y Tablas N° 19, 20, 21 y 22:

Análisis de Varianza

a) Planteamiento de hipótesis (Respecto del orden Inceptisoles)

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_a$$

H_1 : Al menos dos difieren

Respecto de los indicadores de calidad

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_b$$

H_1 : Al menos dos difieren

b) Nivel de significancia

$$\alpha = 0,05$$

c) Proceso de calculo

Tabla N° 19. Fórmulas para el Cálculo de ANVA

Factor	Formula	Resultado
Factor de corrección	$Fc = (\sum x_{ij})^2 / ab = x_{..}^2 / ab$	9,506
Suma cuadrado total	$Sct = \sum x_{ij}^2 - fc$	7,011
Suma cuadrado subgrupos	$Scs = (x_{.1}^2 + x_{.2}^2 + \dots + x_{.a}^2) / b - fc$	1,345
Suma cuadrado indicadores	$Sci = (x_{.1} + x_{.2} + \dots + x_{.b}) / a - fc$	0,534
Error residual	$Er = sct - (scs + sci)$	5,132

Donde:

FC = Factor de corrección
 SCT = Suma de cuadrado total
 SCS = Suma de cuadrado de subgrupos de suelos
 SCI = Suma de cuadrado de indicadores de calidad de suelo
 ER = Error residual
 X_{ij} = Valor observado en la i – esima fila de la j – esima columna
 a = Numero de subgrupos de suelo
 b = Numero de indicadores de calidad de suelo
 $X_{.a}$ = Sumatoria total de la suma de valores de cada subgrupo
 $X_{.b}$ = Sumatoria total de la suma de valores de cada indicador

Tabla N° 20. ANVA de Sub grupos Taxonómicos e ICS

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fc	Fo
Subgrupos de suelos	4	1,345	0,34	1,84	2,71
Indicadores	7	0,534	0,08	0,42	2,36
Error residual	28	5,132	0,18		
Total	39	7,011			

d) Regla de decisión

Si $F_c < F_o$, entonces se acepta la H_o .

e) Interpretación de Resultados ANVA

A un nivel de significación de "alfa = 0,05" y un nivel de confianza del 95 % se establece que no hay diferencia significativa entre los niveles de Sub grupos de suelos, así como a nivel de los indicadores de calidad de suelo, pues el F_c de ambas fuentes de variación es menor del F_o . Por tanto, se acepta la hipótesis nula que no hay variabilidad extrema de sus promedios; esta situación se puede atribuir a que los diferentes subgrupos de suelos e indicadores de calidad se enmarcan en la categoría de suelos de un mismo Orden (Inceptisoles).

Coefficiente de Variación

a) Planteamiento del cálculo de parámetros (Respecto del orden de Inceptisoles)

Tabla N° 21. Fórmulas para el Cálculo del CV

Descripción	Formula
Media	$\bar{x} = \sum x_i / n$
Desviación estándar	$s = \sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 / (n - 1)}$
Coefficiente de variación	$CV = (s / \bar{x}) * 100$

Tabla N° 22. C. V. de Subgrupos Taxonómicos e ICS

Unidad de Terreno	Sub Grupo Taxonómico	Profundidad (A)	Da (B)	Agua disponible (C)	pH (D)	CE (E)	PSI (F)	Carbón total (G)	Bases Intercambiables (H)	ICS	Desv. Estándar	Coef. de Variación
2	Typic Haplustepts	1,00	0,06	0,00	0,54	0,94	0,87	0,00	0,00	0,43	0,46	107,77
23	Typic Haplustepts	0,71	0,94	1,00	0,37	0,37	0,19	0,74	0,09	0,55	0,34	62,21
83	Typic Haplustepts	0,46	0,00	0,00	0,71	0,00	0,43	0,01	0,09	0,21	0,28	131,62
91	Typic Haplustepts	0,11	0,94	1,00	1,00	1,00	1,00	0,19	1,00	0,78	0,39	50,16
103	Typic Haplustepts	0,00	1,00	1,00	0,00	0,69	0,00	1,00	0,04	0,47	0,50	106,76
	PROMEDIO	0,46	0,59	0,60	0,53	0,60	0,50	0,39	0,24	0,49	0,39	91,70
	DESV. ESTANDAR	0,42	0,51	0,55	0,37	0,42	0,43	0,45	0,42	0,21		
	COEF. DE VARIACION	91,01	86,62	91,29	71,24	69,65	86,67	117,46	173,14	42,06		

b) Interpretación de Resultados del Coeficiente de Variación

Según los resultados la Tabla N° 22, el C.V. de los 8 indicadores expresan un grado de disgregación o esparcimiento bastante amplio del conjunto de las variables observadas respecto de su promedio. En particular, el C.V. de los indicadores referidos a bases intercambiables y carbono total con una variación de 173 y 117 %. El CV del Índice de Calidad de Suelos (ICS) es igual a 42 %, resultado que muestra que la variabilidad de los promedios de los distintos índices en su conjunto respecto al promedio, es alto.

Podríamos decir entonces, que el índice de calidad de suelos, calculado para los Sub grupos del Orden Inceptisoles, está influenciado por los bajos valores de los 8 indicadores analizados, pero con mayor fuerza por el de bases intercambiables, carbono total y agua disponible. El C orgánico es considerado un atributo clave dada su marcada influencia sobre la mayoría de las propiedades del suelo (Gregorich *et al.*, 1994). La disminución del C orgánico sería la causa principal de los valores bajos del indicador de agua disponible y bases intercambiables, afectaría también a la estabilidad de agregados e infiltración y sería un medio del indicador densidad aparente. Estos cambios en las propiedades físicas podrían aumentar el potencial y los procesos de erosión en los suelos.

Respecto de los C.V. para los Sub grupos de suelos, se presentan variabilidades muy amplias, alcanzando los 131, 107 y 106 % para la Unidades de Terreno N° 83, 2 y 103 respectivamente, mientras que las otras unidades, tienen un C.V. por encima del 50 %. Estas variaciones pueden estar influenciadas por los sistemas de uso y manejo, y por algunas otras consideraciones de tipo local.

Tomando en cuenta los rangos de valores del C.V. establecidos por los investigadores, tal como se muestra en la Tabla N° 17, se podría decir que los resultados de los indicadores, Sub grupos e Índices de Calidad de Suelos están por encima del 40 % del C.V., lo que puede dar como resultado efectos negativos tanto desde el punto de vista económico (disminución de rendimientos) como ambiental (emisión de carbono, erosión, salinización).

Orden Aridisoles

Se está efectuando una investigación sobre diferentes elementos, características y/o indicadores de la calidad de suelos en 5 Sub grupos de suelo. Por tanto, se espera que a partir de la aplicación de pruebas estadísticas, los distintos indicadores se manifiesten de forma diferente según el tipo de suelo objeto de estudio. En este sentido, se tomo en cuenta tres tipos de suelo y ocho indicadores de calidad del suelo que se identifican con las letras A, B, C, D, E, F, G y H. A partir de estas consideraciones apuntadas, se tiene identificado dos factores (suelo e indicadores de calidad) con 9 y 8 niveles respectivamente, del cual resultan 72 combinaciones. Los resultados se muestran en la Tabla N° 23.

Tabla N° 23. Sub grupos Taxonómicos e Indicadores de Suelos del Orden Aridisoles

Unidad de Terreno	Sub Grupo Taxonómico	Indicadores								Total	ICS (*)
		Profundidad (A)	Da (B)	Agua disponible (C)	pH (D)	CE (E)	PSI (F)	Bases intercambiables (G)	Carbono total (H)		
21	Typic Haplocambids	0,33	0,54	0,29	0,69	1,00	0,86	0,08	0,12	3,91	0,49
69	Typic Haplocambids	0,60	0,23	0,14	0,91	0,93	0,86	0,00	0,21	3,88	0,49
110	Typic Haplocambids	0,93	0,23	0,43	1,00	1,00	0,99	0,09	1,00	5,66	0,71
49	Typic Haplocambids	1,00	0,00	0,00	0,00	0,52	0,98	0,30	0,00	2,79	0,35
39	Typic Calciorthids	0,20	0,85	0,14	0,72	1,00	1,00	1,00	0,37	5,28	0,66
109	Typic Caciorthids	0,80	0,69	0,43	0,00	0,62	1,00	0,86	0,25	4,65	0,58
104	Typic Calciorthids	0,87	1,00	1,00	0,47	0,00	0,99	0,73	0,75	5,80	0,72
105	Typic Calciorthids	0,53	1,08	0,14	0,00	0,45	0,97	0,91	0,33	4,41	0,55
47	Typic Natrargids	0,00	1,00	0,29	0,22	0,45	0,00	0,43	0,21	2,59	0,32
	TOTAL	5,27	5,62	2,86	4,00	5,97	7,64	4,39	3,24	38,99	
	PROMEDIO	0,59	0,62	0,32	0,44	0,66	0,85	0,49	0,36		0,54

(*) ICS = Índice de calidad del suelo = Promedio de los indicadores

Sobre la base de los resultados de la tabla precedente, se procedió con la aplicación de la prueba de Análisis de Varianza de dos vías (definición de hipótesis, nivel de significación, cálculos y resultados), y el Coeficiente de Variación, ver desarrollo siguiente y Tablas N° 24, 25, 26 y 27:

Análisis de Varianza

a) Planteamiento de hipótesis

Respecto del Orden Aridisoles

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_a$$

H_1 : Al menos dos difieren

Respecto de los indicadores de calidad

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_b$$

H_1 : Al menos dos difieren

b) Nivel de significancia

$$\alpha = 0,05$$

c) Proceso de calculo

Tabla N° 24. Fórmulas para el Cálculo de ANOVA

Factor	Formula	Resultado
Factor de corrección	$FC = (\sum X_{ij})^2/ab = X_{..}^2/ab$	21,110
Suma cuadrado total	$SCT = \sum X_{ij}^2 - FC$	9,105
Suma cuadrado subgrupos	$SCS = (X_{1.}^2 + X_{2.}^2 + \dots + X_{a.}^2)/b - FC$	1,335
Suma cuadrado indicadores	$SCI = (X_{.1} + X_{.2} + \dots + X_{.b})/a - FC$	1,920
Error residual	$ER = SCT - (SCS + SCI)$	5,850

Donde:

FC = Factor de corrección

SCT = Suma de cuadrado total

SCS = Suma de cuadrado de subgrupos de suelos

SCI = Suma de cuadrado de indicadores de calidad de suelo

ER = Error residual

X_{ij} = Valor observado en la i – esima fila de la j – esima columna

a = Numero de subgrupos de suelo

b = Numero de indicadores de calidad de suelo

$X_{a.}$ = Sumatoria total de la suma de valores de cada subgrupo

$X_{.b}$ = Sumatoria total de la suma de valores de cada indicador

Tabla N° 25. ANVA de Sub grupos Taxonómicos e ICS

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fc	Fo
Subgrupos de suelos	8	1,335	0,17	1,60	2,11
Indicadores	7	1,920	0,27	2,63	2,18
Error residual	56	5,850	0,10		
Total	71	9,105			

d) Regla de decisión

Si $F_c < F_o$, entonces se acepta la H_0 .

e) Interpretación de Resultados ANVA

Con un nivel de significación de "alfa = 0,05" y un nivel de confianza del 95 % se establece que A un nivel de significación del = 0,05, en el Orden Aridisoles se observa diferencia significativa en los indicadores ($F_c = 2,63 > F_o = 2,18$); en cambio en el caso de los subgrupos no hay diferencias significativas ($F_c = 1,60 < F_o = 2,11$).

Coeficiente de Variación

a) Planteamiento del proceso de cálculo (Respecto del orden de Aridisoles)

Tabla N° 26. Fórmulas para el Cálculo del CV

Descripción	Formula
Media	$\bar{x} = \sum x_i / n$
Desviación estándar	$s = \sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 / (n - 1)}$
Coeficiente de variación	$CV = (s / \bar{x}) * 100$

Tabla N° 27. C. V. de Subgrupos Taxonómicos e ICS

Unidad de Terreno	Sub Grupo Taxonómico	Profundidad (A)	Da (B)	Agua disponible (C)	pH (D)	CE (E)	PSI (F)	Carbono total (G)	Bases Intercambiables (H)	ICS	Desv. Estándar	Coef. de Variación
21	Typic Haplocambids	0,33	0,54	0,29	0,69	1,00	0,86	0,08	0,12	0,49	0,34	69,37
69	Typic Haplocambids	0,60	0,23	0,14	0,91	0,93	0,86	0,00	0,21	0,49	0,38	78,85
110	Typic Haplocambids	0,93	0,23	0,43	1,00	1,00	0,99	0,09	1,00	0,71	0,39	55,41
49	Typic Haplocambids	1,00	0,00	0,00	0,00	0,52	0,98	0,30	0,00	0,35	0,44	125,22
39	Typic Calciorrhids	0,20	0,85	0,14	0,72	1,00	1,00	1,00	0,37	0,66	0,37	55,64
109	Typic Calciorrhids	0,80	0,69	0,43	0,00	0,62	1,00	0,86	0,25	0,58	0,34	57,61
104	Typic Calciorrhids	0,87	1,00	1,00	0,47	0,00	0,99	0,73	0,75	0,72	0,34	47,57
105	Typic Calciorrhids	0,53	1,08	0,14	0,00	0,45	0,97	0,91	0,33	0,55	0,40	72,08
47	Typic Natrargids	0,00	1,00	0,29	0,22	0,45	0,00	0,43	0,21	0,32	0,32	98,90
	PROMEDIO	0,59	0,62	0,32	0,44	0,66	0,85	0,49	0,36	0,54	0,37	73,41
	DESV. ESTANDAR	0,35	0,39	0,29	0,40	0,35	0,32	0,39	0,32	0,14		
	COEF. DE VARIACION	59,68	63,30	92,16	90,71	52,32	38,05	80,59	87,99	26,68		

b) Interpretación de Resultados del Coeficiente de Variación

Según los resultados la Tabla N° 27, el C.V. de los 8 indicadores expresan un grado de disgregación o esparcimiento amplio del conjunto de las variables observadas respecto de su promedio. En particular, los C.V. de los indicadores referidos a agua disponible con 92 %, y pH con 90 %, luego siguen los indicadores de bases intercambiables y carbono total cuyos C.V están entre 88 y 80 % respectivamente, mientras que los otros indicadores también presentan variaciones significativas, pero menores a las ya mencionadas. Respecto al ICS, este tiene una variación moderadamente alta, del orden del 26 %.

Podríamos decir entonces, que el índice de calidad de suelos, calculado para los Sub grupos del Orden Aridisoles, está fuertemente influenciado por los bajos valores de agua disponible, bases intercambiables y carbono total, y altos valores de pH.

El alto valor del pH evidencia condiciones de acumulación de sales y pocas condiciones de disponibilidad de nutrientes en el complejo de cambio; la baja disponibilidad de agua es debido a la textura de los suelos y al bajo contenido de MO, que se advierte por el bajo % de carbono total, el cual es considerado un atributo clave dada su marcada influencia sobre la mayoría de las propiedades del suelo (Gregorich *et al.*, 1994). La disminución del Carbono orgánico sería la causa principal de los valores bajos del indicador de agua disponible y bases intercambiables, afectaría también a la estabilidad de agregados e infiltración y sería un medio del indicador densidad aparente.

En el caso de los C.V. para los Sub grupos de suelos, se presenta una variabilidad amplia, en particular para el Sub grupo: Typic Haplosalids – unidad de Terreno N° 49 que es de 125 %, mientras que para el resto de los suelos el C.V. está por entre 42 y 98 %.

Tomando en cuenta los rangos de valores del C.V. establecidos por los investigadores, tal como se muestra en la Tabla N° 17, se podría decir que los resultados de los indicadores y sub grupos de suelos están por encima del 25 % del C.V., que pueden dar como resultado unos efectos negativos tanto desde el punto de vista económico (disminución de rendimientos) como ambiental (emisión de carbono, salinización).

CONCLUSIONES

El set de indicadores utilizados para evaluar la calidad de los suelos ubicados en Llanuras de Piedemonte, en el Altiplano Sur Oeste de Bolivia, cumple con los criterios más importantes requeridos para su uso como indicadores. Se trata de un número mínimo de variables o atributos del suelo que integran información de otras variables asociadas, incorpora indicadores físicos, químicos y biológicos, y en su mayoría son de fácil medición. Lo expuesto evidencia la aptitud de los indicadores seleccionados para reflejar, en términos de calidad, los cambios en cada una de las propiedades.

En la construcción del set se consideraron las principales propiedades de los suelos del área para que los indicadores representen las condiciones locales. Se descartaron indicadores que, si bien forman parte de listas muy usadas en otras partes del mundo (e.g. Doran & Safley, 1997), no tienen validez local. Por ello, es importante señalar que estos indicadores de estado del recurso suelo no son universales sino que deben ser elegidos en función del tipo de ambiente y suelo de la región en estudio. Estos resultados representan una instantánea para la situación del año 2010.

Para darle el sentido temporal será necesario realizar mediciones secuenciales en lapsos de tiempo tales que permitan registrar cambios en los atributos utilizados vinculados a las condiciones de uso y manejo de los suelos.

BIBLIOGRAFÍA

- Bezdick, DF; RI Papendick & L Lal. 1996. Introduction: Importance of soil quality to health and sustainable land management. *In: Methods for Assessing Soil Quality* (JW Doran & AJ Jons, ed.). ASA, Madison, WI, p.1-8.
- Blum, WEH & AA Santelises. 1994. A concept of sustainability and resilience based on soil functions. Pp. 535-542. *In: DJ Greenland & I Szboles (ed.). Soil Resilience and Sustainable Land use* CAB Int., Wallingford, Oxon, UK.
- Brejda, JJ; TB Moorman; DL Karlen & TH Dao. 2000. Identification of regional Soil Quality factors and indicators: I. Central and Southern High Plains. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 2115-2124.
- Cantú, MP. 2007. et. al. Evaluación de la Calidad de Suelos Mediante el Uso de Indicadores e Índices. Departamento de Geología, Universidad Nacional de Río Cuarto. Argentina. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo, 2008.
- Cantú, MP; AR Becker & JC Bedano. 2003. Aplicación del modelo Presión Estado y Respuesta (PSR) para evaluar la calidad ambiental en la región central de Argentina. Medio Ambiente Siglo XXI (MAS XXI) CD. Editorial Feijóo. 8 pp.
- Cantú, MP; AR Becker; JC Bedano; TB Musso & HF Schiavo. 2002. Evaluación de la calidad ambiental y calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. CD. 6 pp.
- Cantú, MP; AR Becker; JC Bedano & HF Schiavo. 2001. Indicadores e Índices de degradación de suelos en la región central templada húmeda a subhúmeda de la República Argentina. XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo. CD. Trabajo VII-15, 4 pp.
- Cochrane, T.T. 1970. Guía para la interpretación de datos analíticos rutinarios de suelos efectuados en el laboratorio de suelos de la Misión Británica en Agricultura Tropical, Santa Cruz – Bolivia, 17 pp.
- Díaz-Zorita, M; GA Duarte & JH Grove. 2002. A review of no-till systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid Pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 65: 1-18.
- Dexter, AR. 2004. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma* 120: 201-214.
- Doran, JW & TB Parkin. 1994. Defining and assessing soil quality. *In: JW Doran; DC Coleman; DF Bezdick & BA Stewart(eds.). Defining soil quality for a sustainable environment.* SSSA Special Publication N° 35. Wisconsin, USA.
- Doran, JW & TB Parkin. 1996. Quantitative indicators of soil Quality: a minimum data set. Pp. 25-37. *In: Methods for assessing Soil Quality*, SSSA Special Publication N° 49, Wisconsin, USA.

- Doran, JW; M Sarrantonio & MA Liebig. 1996. Soil Health and sustainability. Pp.1-54. *In: LD Sparks (ed.). Advances in Agronomy, Vol 56. Academic Press Inc. San Diego CA.*
- Doran, JW & M Safley. 1997. Defining and assessing soil health and sustainable productivity. Pp. 1-28. *In: C Pankhurst; BM Doube & VVSR Gupta (eds.). Biological indicators of soil health. CAB International, Wallingford.*
- Doran, JW & MR Zeiss. 2000. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Appl. Soil Ecol.* 15: 3-11.
- Fabrizzi, KP; FO García; JL Costa & LI Picone. 2005. Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 81: 57-69.
- FAO. 1990. Guidelines for soil description. Food and Agriculture Organization of The United Nations. International Soil Reference Information Center 3^o Edition revised. Soil Resources. Management and Conservation Service, Land and Water Development Division. Roma 1-26 pp.
- FAUTAPO, 2008. Estudio de Suelos del Área Productora de Quinua Real. Programa Quinua Altiplano Sur. Bolivia.
- Ferreras, LA; JL Costa; FO García & C Pecorari. 2000. Effect of no-tillage on some soil physical properties of a structural degraded Petrocalcic Paleudoll of the southern "Pampa" of Argentina. *Soil Till. Res.* 54: 31-39.
- Franzluebbers, AJ; GW Langdale & HH Schomberg. 1999. Soil carbon, nitrogen, and aggregation in response to type and frequency of tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 349-355.
- Gallopin, G. 1997. Indicators and their use information for decision making. Part 1 Introduction. *In: B Moldan & S Billharz (eds.). Sustainability indicators. Wiley, Chichester-N. York.*
- Gil-Sotres, F; C Trasar-Cepeda; MC Leirós & S Seoane. 2005. Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. *Soil Biol. Biochem.* 37: 877-887
- Gregorich, EG; MR Carter; DA Angers, CM Monreal & BH Ellert. 1994. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soil. *Can. J. Soil Sci.* 74: 367-385.
- Karlen, DL; MJ Mausbach; JW Doran; RC Cline; RF Harris & GE Schuman. 1996. Soil Quality; concept, rationale and Research Needs. *Soil Science Society of America, Committee.*
- Lilburne, I; G Saprling & L Schipper. 2004. Soil quality monitoring en New Zealand development of an interpretative framework. *Agric. Ecosyst. Environ.* 104: 533-544.
- Murillo, M. 2010. Aspectos Conceptuales y Teóricos para el uso de Indicadores en los Estudios de los Procesos de Degradación y Desertificación. Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras. La Paz - Bolivia
- Murillo, M. y Chacolla, E, 2009. Erodabilidad de los suelos del sur oeste de Bolivia. Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras, La Paz - Bolivia.
- Murillo, M, 2003. Diagnóstico de los Suelos en Bolivia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. La Paz Bolivia.
- OECD. 1991. Environmental Indicators: A preliminary Set, OCDE, Paris.
- Pankhurst, CE; BG Hawke; HJ McDonald; CA Kirby; JC Buckerfield; P Michelsen; KA O'Brien; VVR Gupta & BM Doube. 1995. Evaluation of soil biological properties as potential bioindicators of soil health. *Austr. J. Agric. Res.* 35: 1015-1028.
- Reynolds, WD; BT Bowman; CF Drury; CS Tana & X Lu. 2002. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. *Geoderma* 110: 131-146.
- Salinas-García, JR; FM Hons & JE Matocha. 1997. Long-term effects of tillage and fertilization on soil organic matter dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 152-159.
- Sánchez, C.F. 1974. La distribución del tamaño de partículas y su aplicación en estudios de suelos y de ingeniería. MOP. Dir. Información Básica de Edafología. Venezuela. 86 pp.
- Schjøning P & KJ Rasmussen. 2000. Soil strength and soil pore characteristics for direct drilled and ploughed soils. *Soil Till. Res.* 57: 69-82.
- Segnestam, L. 2002. Indicators of Environmental and Sustainable Development. Theories and Practical Experience, *Environmental Economic Series*, Paper N° 89, 61 pp. World Bank, Washington DC.
- Soil Survey Division Staff. 1993. Soil survey manual. United States Department of Agriculture, USDA. Handbook N° 18. Washington DC. 20402. 59 – 195, 437 pp.
- Soil Survey Staff. 2006. Key to Soil Taxonomy. USDA Tenth Edition. Washington DC. 341 pp.
- Topp, GC; WD Reynolds; FJ Cook; JM Kirby & MR Carter. 1997. Physical attributes of soil quality. *In: EG Gregorich & MR Carter (eds.). Soil quality for crop production and ecosystem health. Developments in Soil Science, Elsevier, NY, 25: 21-58.*
- Villarroel, A.J. 1988. Manual práctico para la interpretación de análisis de suelos en laboratorio. Ed. AGRUCO. Bolivia Serie Técnica N° 10.
- Warkentin, BP. 1996. Overview of soil quality indicators. Pp. 1-13. *In: GM Cohen & HS Vanderpluym (eds.). Proc. Soil Quality Assessment for the Prairies, Agric. Canada, Edmonton.*

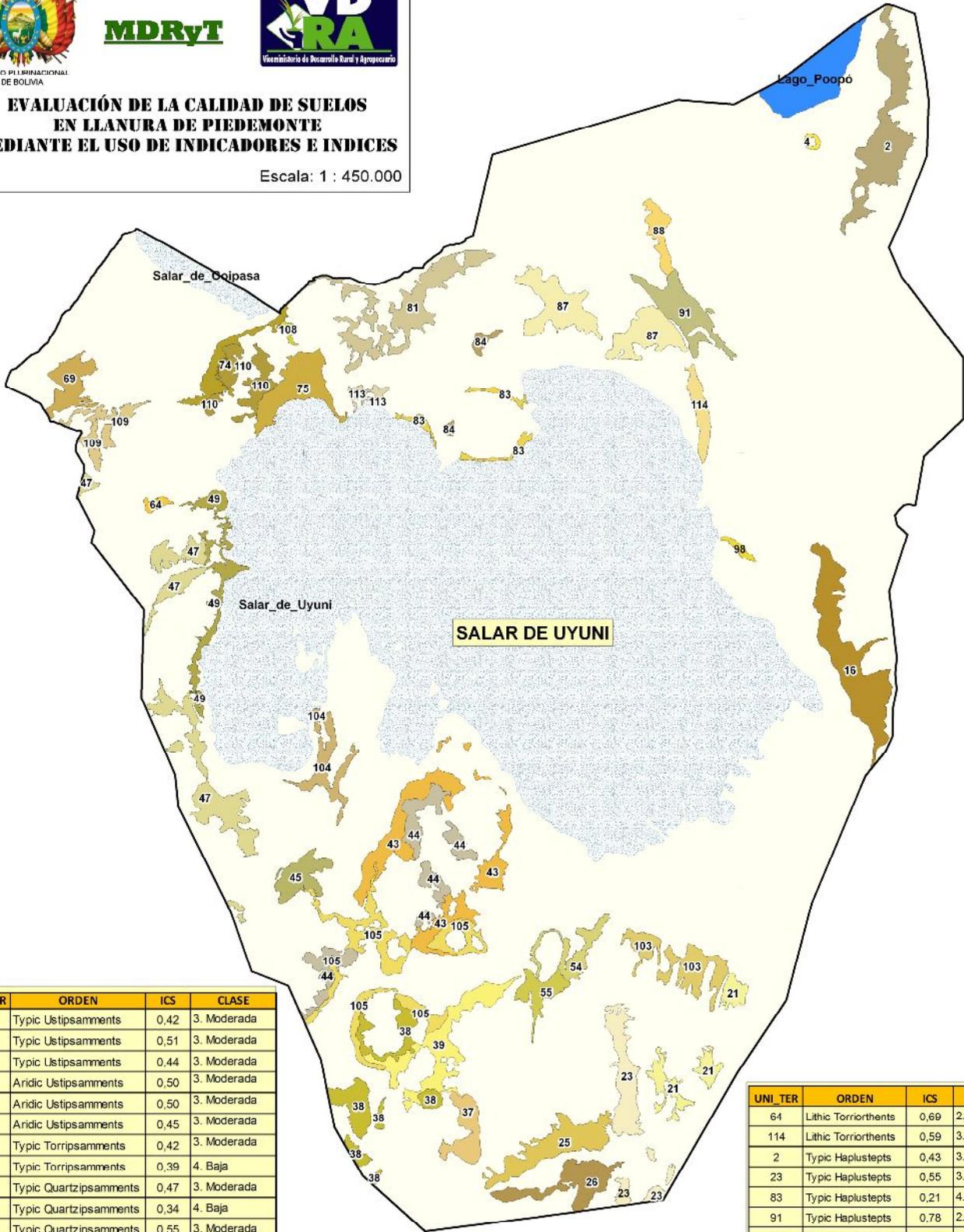


MDRyT



**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE SUELOS
EN LLANURA DE PIEDEMONTE
MEDIANTE EL USO DE INDICADORES E INDICES**

Escala: 1 : 450.000



UNI_TER	ORDEN	ICS	CLASE
4	Typic Ustipsamments	0,42	3. Moderada
45	Typic Ustipsamments	0,51	3. Moderada
84	Typic Ustipsamments	0,44	3. Moderada
25	Aridic Ustipsamments	0,50	3. Moderada
38	Aridic Ustipsamments	0,50	3. Moderada
54	Aridic Ustipsamments	0,45	3. Moderada
75	Typic Torripsamments	0,42	3. Moderada
108	Typic Torripsamments	0,39	4. Baja
113	Typic Quartzipsamments	0,47	3. Moderada
74	Typic Quartzipsamments	0,34	4. Baja
26	Typic Quartzipsamments	0,55	3. Moderada
37	Typic Quartzipsamments	0,55	3. Moderada
87	Typic Quartzipsamments	0,48	3. Moderada
16	Typic Ustorthents	0,59	3. Moderada
43	Typic Ustorthents	0,45	3. Moderada
44	Typic Ustorthents	0,54	3. Moderada
81	Typic Ustorthents	0,46	3. Moderada
88	Typic Ustorthents	0,62	2. Alta
55	Aridic Ustorthents	0,53	3. Moderada
98	Aridic Ustorthents	0,65	2. Alta

UNI_TER	ORDEN	ICS	CLASE
64	Lithic Torriorthents	0,69	2. Alta
114	Lithic Torriorthents	0,59	3. Moderada
2	Typic Haplustepts	0,43	3. Moderada
23	Typic Haplustepts	0,55	3. Moderada
83	Typic Haplustepts	0,21	4. Baja
91	Typic Haplustepts	0,78	2. Alta
103	Typic Haplustepts	0,47	3. Moderada
21	Typic Haplocambids	0,49	3. Moderada
69	Typic Haplocambids	0,49	3. Moderada
110	Typic Haplocambids	0,71	2. Alta
49	Typic Haplocambids	0,35	4. Baja
39	Typic Calciorthids	0,66	2. Alta
105	Typic Calciorthids	0,55	3. Moderada
109	Typic Calciorthids	0,58	3. Moderada
104	Typic Calciorthids	0,72	2. Alta
47	Typic Natragids	0,32	4. Baja

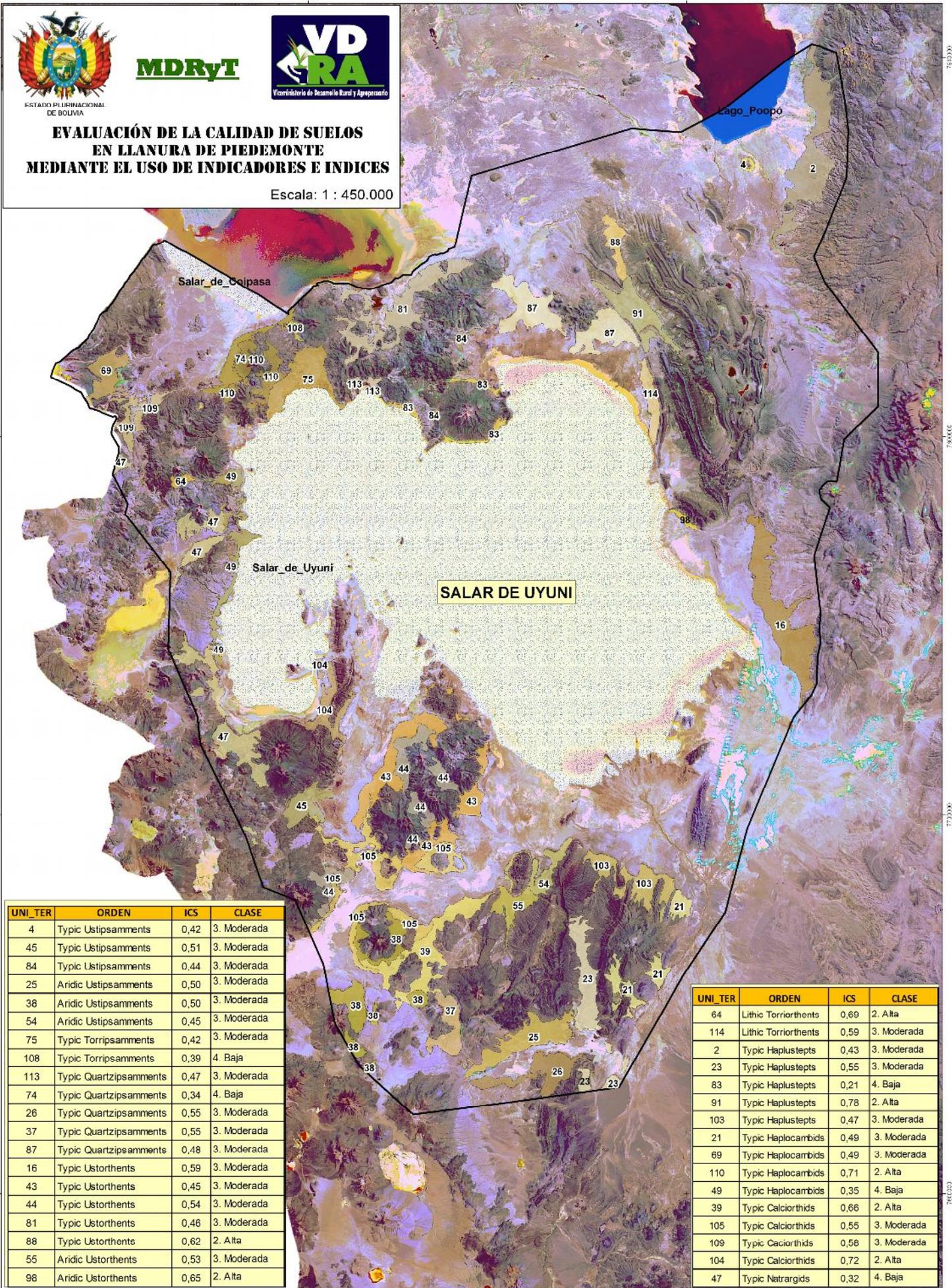


MDRyT



**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE SUELOS
EN LLANURA DE PIEDEMORTE
MEDIANTE EL USO DE INDICADORES E INDICES**

Escala: 1 : 450.000



UNI_TER	ORDEN	ICS	CLASE
4	Typic Ustipsamments	0,42	3. Moderada
45	Typic Ustipsamments	0,51	3. Moderada
84	Typic Ustipsamments	0,44	3. Moderada
25	Aridic Ustipsamments	0,50	3. Moderada
38	Aridic Ustipsamments	0,50	3. Moderada
54	Aridic Ustipsamments	0,45	3. Moderada
75	Typic Torripsamments	0,42	3. Moderada
108	Typic Torripsamments	0,39	4. Baja
113	Typic Quartzipsamments	0,47	3. Moderada
74	Typic Quartzipsamments	0,34	4. Baja
26	Typic Quartzipsamments	0,55	3. Moderada
37	Typic Quartzipsamments	0,55	3. Moderada
87	Typic Quartzipsamments	0,48	3. Moderada
16	Typic Ustorthents	0,59	3. Moderada
43	Typic Ustorthents	0,45	3. Moderada
44	Typic Ustorthents	0,54	3. Moderada
81	Typic Ustorthents	0,46	3. Moderada
88	Typic Ustorthents	0,62	2. Alta
55	Aridic Ustorthents	0,53	3. Moderada
98	Aridic Ustorthents	0,65	2. Alta

UNI_TER	ORDEN	ICS	CLASE
64	Lithic Torriorthents	0,69	2. Alta
114	Lithic Torriorthents	0,59	3. Moderada
2	Typic Haplustepts	0,43	3. Moderada
23	Typic Haplustepts	0,55	3. Moderada
83	Typic Haplustepts	0,21	4. Baja
91	Typic Haplustepts	0,78	2. Alta
103	Typic Haplustepts	0,47	3. Moderada
21	Typic Haplocambids	0,49	3. Moderada
69	Typic Haplocambids	0,49	3. Moderada
110	Typic Haplocambids	0,71	2. Alta
49	Typic Haplocambids	0,35	4. Baja
39	Typic Calciorthids	0,66	2. Alta
105	Typic Calciorthids	0,55	3. Moderada
109	Typic Calciorthids	0,56	3. Moderada
104	Typic Calciorthids	0,72	2. Alta
47	Typic Natrargids	0,32	4. Baja