



Evaluación de la Calidad de suelos para el cultivo de maíz (*Zea Mays*) en 4 distritos representativos del Valle del Mantaro

Rubén Munive Cerrón*, Rita Jaqueline Cabello Torres**, Natalí Carbo-Bustanza***, Javier Linkolk López-Gonzales***

Recibido 01 de abril de 2017, Aceptado 01 de mayo de 2017

Received: april 01, 2017 Accepted: may 01, 2017

*Facultad de Agronomía, Universidad Nacional del Centro del Perú, Perú. **Universidad Cesar Vallejo***Universidad Peruana Unión

Resumen

La investigación se realizó en 4 distritos del valle del Mantaro: INIA El Tambo, EEA Mantaro, Chupaca y Huayao; Provincias de Huancayo, Jauja y Chupaca, Departamento de Junín, agosto 2017. Los objetivos fueron: Identificar y seleccionar un número mínimo de propiedades físicas, químicas y biológicas como indicadores de calidad del suelo y contribuir a establecer pautas para mejorar los suelos y sostenerlos. Los indicadores de calidad de suelo se basaron en el concepto de valoración de manejo del suelo (Soil Management Assessment Framework –**SMAF**) que emplea indicadores múltiples, con el objeto de registrar propiedades físicas, químicas, biológicas y procesos del suelo; cuanto más indicadores se emplee en el análisis, la caracterización será más precisa y es el Conjunto Mínimo de Datos (**CMD**), esta fue una herramienta que permitió construir un índice que puede ser empleado para evaluar los efectos del manejo a través del tiempo. El análisis de agrupamiento con respecto a las propiedades químicas, reveló diferencias entre localidades y dentro de las mismas. Esto indica que los suelos de Santa Ana (S) y Mantaro (M) no son tan diferentes a los de Huayao (H) y difieren más con respecto a Chupaca (C).

El análisis clúster con respecto a las propiedades físicas de los suelos determinó que Huayao y Chupaca forman un grupo similar entre sí pero diferente a los suelos de Mantaro y Santa Ana. Un resultado parecido se observó en el agrupamiento de propiedades químicas.

Los resultados de Índices de Calidad (IC) o ICSA, revelaron antes del experimento que Chupaca tiene los mejores suelos y Santa Ana los menos fértiles. Los índices de calidad obtenidos fueron construidos en base a la mejor y peor condición de cada indicador de los suelos experimentales. Sobre la base de los índices de calidad de suelo determinados (Cantú *et al.*, 2007) y luego del análisis de agrupamiento, resulta que los suelos de Chupaca y Huayao tienen similar calidad y son los mejores, le sigue Mantaro y luego Santa Ana, como los de menor calidad. La mejor calidad de suelos se debe a su mayor contenido de materia orgánica y mejor CIC. En base a los cálculos de los índices de calidad del suelo (**IC**) se ha determinado, para el caso del **cultivo de maíz**, que los suelos de Mantaro son los mejores y Santa Ana de menor calidad, este caso es similar al análisis inicial. Este resultado corrobora el análisis de componentes principales (**ACP**). En conclusión, Existe diferente nivel de fertilidad de los suelos en estudio y dentro de las parcelas experimentales antes y después de la aplicación de los tratamientos, mientras que la adición de **MO** ha acidificado ligeramente el suelo.

Palabras clave: Calidad del suelo. Propiedades Físicas, Químicas y Biológicas, maíz.

Abstrac

The present work of research is performed in 4 districts of the Valley of the Mantaro: INIA the Tambo, EEA Mantaro, Chupaca and Huayao; Provinces of Huancayo, Jauja and Chupaca, Department of Junín. Those objectives were: identify and select a number minimum of properties physical, chemical and biological as indicators of quality of the soil and contribute to establish guidelines for improve them soils, or at least hold them. The present study of soil quality indicators is based the concept of assessment of soil management (Soil Management Assessment Framework **SMAF**) employing multiple indicators, in order to register physical, chemical, biological properties and processes of the soil; more indicators it is better but you need an optimum level, the so-called set minimum data (**CMD**), which allow you to build an index that is used to evaluate the effects of management over time. The analysis of clustering with

respect to them properties chemical, reveals differences between locations and within the same. It tells us that the soils of Santa Ana (S) and Mantaro (M) are less different regarding Huayao (H) and more differ with respect to Chupaca (C).

The analysis cluster with regard to them properties physical of them soils determines that Huayao and Chupaca form a group similar and different to soils of Mantaro and Santa Ana. This result is similar to the grouping by chemical properties.

The results of indexes of quality (IC) or ICSA, us reveals that Chupaca has the best soils and Santa Ana them less fertile, before the experiment. The indices of quality obtained were built based on the best and worst condition of each indicator of them soils experimental. On the basis of certain soil quality indices (Cantu *et al.*, 2007) and after the cluster analysis, Chupaca and Huayao soils have similar quality and are the best, are followed by Mantaro and Santa Ana, as the lower quality. The best quality of soils is must to their higher content of matter organic and best CIC. Based on them calculations of them indices of quality of the soil (IC) is has determined, for the case of the **cultivation of corn**, that the soils of Mantaro are the best and Santa Ana of lesser quality, in this case is similar to the analysis initial. This result confirms the analysis of components main (ACP). There are different levels of fertility of the soils in study and in experimental plots before and after application of the treatments. The addition of MO has slightly acidified to the ground.

Keywords: Quality of the soil. Properties: physical, chemical and biological, corn.

Introducción

El crecimiento demográfico y el urbanismo está alejando al poblador del sector rural, y esto no es ajeno al Perú y como consecuencia se está abandonando el campo, y más aún, el recurso suelo se está degradando, producto de malos manejos (prácticas agrícolas intensivas) y de la contaminación ambiental, lo que conlleva a su deterioro y continua pérdida de calidad, traduciéndose en un cambio de la calidad microbiológica y de la productividad (menores cosechas). Una de los principales problemas de los suelos es la pérdida de materia orgánica, que se traduce en su degradación física y se refleja en problemas asociados con la estructura, textura, tal como mayor compactación y por ende disminución de la porosidad. Al tornarse el suelo menos productivo, se deteriora la economía del hombre de campo, se incrementa la desnutrición, se altera el comercio, es decir se empobrece el país. Menos del 6% de la superficie del Perú tiene aptitud agrícola y cerca de 5 millones de hectáreas se han perdido en la sierra por efectos de erosión y manejo inadecuado.

Un suelo de calidad es aquel que permite diversos cultivos, fácil de labrar, poroso (los terrones húmedos se deshacen con la mano), que retiene agua, no se erosiona, presenta color oscuro, requiere poca fertilización y los cultivos que se siembran presentan un aspecto vigoroso.

El estudio de indicadores de calidad de suelo se basa el concepto de valoración de manejo del suelo (Soil Management Assessment Framework –SMAF) que emplea indicadores múltiples, con el objeto de registrar propiedades físicas, químicas, biológicas y procesos del suelo; a más indicadores es mejor pero se necesita un nivel óptimo, el denominado Conjunto Mínimo de Datos (CMD), los cuales permitirán construir un índice que sea empleado para evaluar los efectos del manejo a través del tiempo.

La interacción apropiada de las propiedades físicas, químicas, biológicas del suelo posibilitara un ambiente de calidad que permita una agricultura sostenible. Por ello se desarrollo el presente trabajo de investigación con los siguientes objetivos:

- a) Identificar y seleccionar un número mínimo de propiedades físicas, químicas y biológicas como indicadores de calidad del suelo.
- b) Contribuir a establecer pautas para mejorar los suelos, o al menos sostenerlos.

II. Materiales y métodos

2.1 Localización del experimento:

El trabajo se desarrolló en las localidades del INIA El Tambo, EEA Mantaro, Chupaca y Huayao; Provincias de Huancayo, Jauja y Chupaca, Departamento de Junín.

2.2 Superficie del ensayo: Área experimental: 500 m²

Se sacaron al azar muestras de suelos antes de la siembra del cultivo de maíz.

2.3 Tratamientos Aplicados al suelo:

T1: Estiercol de ovino. (10 t/ha)

T2: Estiercol de cuy. (10 t/ha)

T3: Estiercol de vacuno. (10 t/ha)

T4: Fertilización Química. (180-120-120 NPK kg/ha)

T5: Testigo.

2.4 Evaluaciones: se realizaron las siguientes evaluaciones:

- Análisis de suelos antes de la siembra de maíz en los 4 lugares.
- Siembra del cultivo de maíz.
- Análisis de suelos después de la cosecha de maíz en los 4 lugares.

2.5 Tratamiento estadístico de la información

La determinación de diferencias significativas entre los valores de las variables edáficas producto de la administración de los diferentes tratamientos se realizó mediante análisis de varianza y pruebas de comparación múltiple de **Tukey** a un nivel de probabilidad de $P < 0,05$ empleando el software estadístico XLStat el mismo que sirvió para el estudio de relaciones entre las variables y la determinación del conjunto mínimo de datos (**CMD** o **MDS**), mediante análisis de componentes principales (**PCA**). Los gráficos se realizaron con Excel y Systat v.12.

2.6 Construcción de los índices de calidad (IC)

Para la obtención de un valor único de cada parámetro para la subunidad se realiza un promedio ponderado de acuerdo a la proporción que representa cada manejo en el área total. Luego los indicadores son normalizados utilizando una escala 0-1 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: la primera es 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 el cálculo es $V_n = I_m - I_{min} / I_{max} - I_{min}$. La otra situación es 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 (Cantú *et al.*, 2007; Cerda, 2008).

Los valores máximos y mínimos fueron establecidos de diferente forma 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 y algunos del resultado de esta investigación.

El Índice de calidad de suelo aditivo (**ICSA**) para cada parcela de estudio (sistema) se calcula como la sumatoria de los IC de todos sus indicadores. Se supone que mientras más alto es el valor del ICSA mejor es la calidad de suelo del sistema de uso de la tierra (Cerda, 2008).

Cuadro 4. Parámetros empleados para determinar índices de calidad del suelo.

Indicador	pH	N	P	K	CE	CIC	DA
Unidades		ppm			dS/m	Cmol(+)/kg	g/cm ³
I_{max}	9.0	60	80	400	6.00	20	1.5
I_{min}	4.5	30	3	100	0.10	5	1.0

Indicador	pH	N	P	K	CE	CIC	DA	CaCO ₃	MO	Porosidad	Arcilla	Limo	Arena	AF	AH	HUMI
Unidades		ppm			dS/m	Cmol(+)/kg	g/cm ³	%								
I_{max}	9.0	60	80	400	6.00	20	1.5	9	4.50	50	40	52	85	76	76	61
I_{min}	4.5	30	3	100	0.10	5	1.0	1	0.60	35	7	15	20	35	37	48

III. Resultados y discusión

3.1 Fertilidad del suelo antes del experimento

Los análisis indican que la reacción del suelo (pH) es moderadamente ácido para Santa Ana, con tendencia a neutro para Chupaca y Mantaro y moderadamente alcalino para Huayao.

Los niveles de fósforo son altos, pero a veces este no se encuentra disponible ya que se encuentra fijado, caso de suelos pesados o con alto contenido de materia orgánica, como podría estar sucediendo en Chupaca y Mantaro.

Los análisis indican que no existe déficit de potasio, por lo contrario existe de mediana a muy alta

disponibilidad en Chupaca y Mantaro; esto se debe a que en estos lugares se practica agricultura intensiva que continuamente incorpora fertilizantes químicos. En el suelo de Santa Ana los niveles de potasio son bajos, esto debido que ahí se practica descanso del suelo y no existe un programa de recuperación de nutrientes del suelo.

La concentración de calcio en el suelo como catión y en forma de carbonatos, para los suelos es de suma importancia para el intercambio de fósforo, potasio y magnesio y de la fluctuación del pH; así los suelos con nula o baja cantidad de carbonatos tienden a la acidez y a una menor disponibilidad de dichos nutrientes. Contrariamente pH mayores a 7,5 tienden a disminuir la disponibilidad del nitrógeno, fósforo, boro, cobre, zinc, hierro, manganeso, y cobalto, necesarios para una óptima actividad biológica (Ochse, J., *et al.*, 1991). Los resultados del porcentaje de carbonatos indican niveles adecuados en el suelo, por lo que no se espera los problemas indicados líneas arriba. El suelo de Chupaca sería calcáreo.

Los resultados indican que la capacidad de intercambio catiónico (CIC) es variable, baja en Santa Ana, Chupaca y Mantaro y media en Huayao, esto se debería a razones edáficas y de manejo.

La conductividad eléctrica (CE) de los suelos es baja y según la escala propuesta por Henríquez, H. y A. Cabalceta, no se espera efectos dañinos sobre los cultivos y los suelos serían no salinos o es muy baja tendiendo la mediana.

3.1.1 Textura de los suelos: Con respecto a la textura de los suelos antes de instalar el experimento, el análisis indica que estos tienen una buena condición para el desarrollo de los cultivos.

Cuadro N° 5. Textura de los suelos antes de la instalación del experimento

Localidad	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase Textural
Chupaca	44,4	30,0	25,6	Franco
Santa Ana	38,4	35,6	26,0	Franco
Mantaro	28,4	40,0	31,6	Franco Arcilloso
Huayao	46,4	30,0	23,6	Franco

3.1.2 Consistencia de los suelos

El análisis de consistencia revela que podría suceder daño a nivel radicular durante las épocas de sequía y dificultad para la labranza, pero mucha facilidad de manejo cuando los suelos se encuentren en su capacidad de campo.

Cuadro N° 6. Consistencia de los suelos antes de la instalación del experimento

Localidad	CONSISTENCIA			
	MOJADO		HUMEDO	SECO
	Pegajosidad	Plasticidad		
Chupaca	Leve	Leve	Friable	Mod. Duro
Santa Ana	Pegajoso	Plástico	Firme	Duro
Mantaro	Pegajoso	Plástico	Firme	Duro
Huayao	Leve	Leve	Friable	Mod. Duro

3.1.3 Densidad aparente, porosidad, estructura

Los análisis de estructura, densidad aparente y porosidad de los suelos revelan niveles adecuados para Chupaca y Huayao, pero debido a la estructura no es lo óptimo para los cultivos en Santa Ana y Mantaro ya que esas condiciones no serán favorables para el desarrollo radicular (Henderson 1979; Monnier *et al.*, 1973; Stengel, 1986).

Cuadro N° 7. Densidad aparente (Da) porosidad y estructura de los suelos antes de la instalación del experimento

Localidad	Da (g/cm ³)	Porosidad (%)	Estructura
Chupaca	1,22	51,0	Granular
Santa Ana	1,28	50,6	Bloques Sub angulares
Mantaro	1,18	52,0	Bloques Sub angulares
Huayao	1,28	50,4	Granular

3.1.4 Color de suelo

El mayor contenido de materia orgánica en Chupaca le confiere color más oscuro al suelo, mientras que Santa Ana por tener menos MO, presenta un color más claro. El color rojo del suelo de Huayao indicaría la presencia de óxidos de hierro tipo hematita (Fe₂O₃), mientras los de Mantaro, presencia de óxidos de hierro hidratado (Fe₂O₃.3H₂O) unidos a la arcilla y a la materia orgánica; indicando que son suelos más evolucionados, de menor productividad, degradados, donde los elementos tóxicos se solubilizan. La naturaleza de la roca madre, los largos periodos cálidos con estaciones de intensa y larga sequía han determinado coloración roja en Huayao. El color grisáceo del suelo de Chupaca indicaría mayor estabilidad y los colores rojizos a amarillentos de las demás localidades indicarían inestabilidad (PREDES, 2004).

Cuadro N° 8. Color de los suelos antes de la instalación del experimento

Localidad	COLOR	
	EN HUMEDO	EN SECO
Chupaca	10 YR 3/2 Marrón grisáceo muy oscuro	10 YR 4/2 Marrón grisáceo oscuro
Santa Ana	10 YR 4/4 Marrón amarillento oscuro	10 YR 6/4 Marrón amarillento ligero
Mantaro	10 YR 5/6 Marrón amarillento	10 YR 7/6 Amarillo
Huayao	10 R 4/6 Rojo	10 R 5/6 Rojo

3.2 Análisis de agrupamiento y calidad de los suelos antes del experimento

El análisis de agrupamiento con respecto a las propiedades químicas, revela diferencias entre localidades y dentro de las mismas. Nos indica que los suelos de Santa Ana (S) y Mantaro (M) son menos diferentes con respecto a los de Huayao (H) y difieren más con respecto a los de Chupaca (C). Además el dendrograma (Figura N° 3) indica que existen diferencias entre parcelas dentro de la misma localidad, mostrando mayor variabilidad las parcelas de Santa Ana.

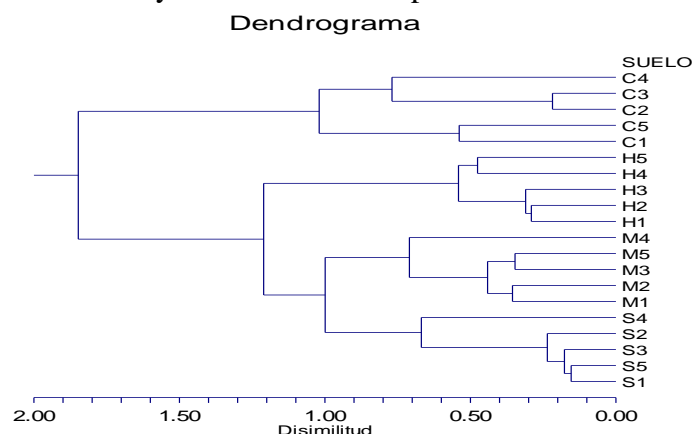


Figura N° 3. Dendrograma correspondiente a la clasificación inicial de suelos experimentales en función de sus propiedades químicas.

El análisis clúster con respecto a las propiedades físicas de los suelos determina que Huayao y Chupaca forman un grupo similar y diferente a los de Mantaro y Santa Ana. Este resultado es similar al agrupamiento por propiedades químicas.

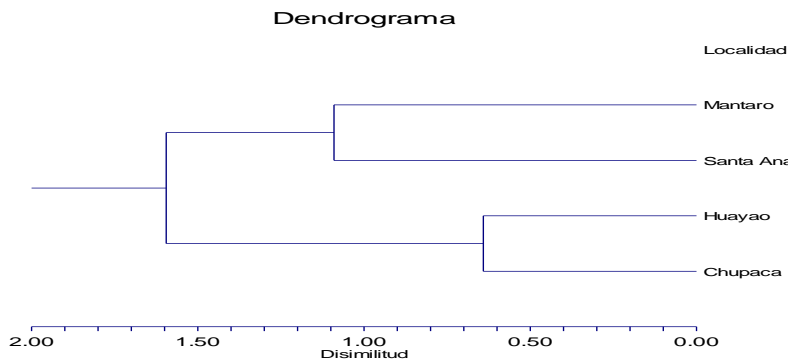


Figura N° 4. Dendrograma correspondiente a la clasificación inicial de los suelos experimentales en función de sus propiedades físicas.

Los resultados según el cuadro 9, el IC o ICSA, nos revela que Chupaca tiene los mejores suelos y Santa Ana los menos fértiles, antes del experimento. Los índices de calidad obtenidos fueron construidos en base a la mejor y peor condición de cada indicador de los suelos experimentales.

Cuadro N° 9. Índices de calidad de suelos (IC) en base a propiedades químicas iniciales de los suelos, estimados según la metodología propuesta por Cantú *et al.*, (2007) y Cerda, (2008)

Localidad	pH	MO	P	K ₂ O	CIC					CE	CaCO ₃	IC	ICSA
					Total	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺				
Chupaca	0.98	0.98	0.00	0.63	0.93	0.92	0.98	0.55	0.10	0.52	0.95	0.69	7.50
Santa Ana	0.04	0.13	0.10	0.02	0.19	0.19	0.16	0.03	0.53	0.97	0.00	0.21	1.42
Mantaro	0.73	0.32	1.00	0.26	0.11	0.11	0.10	0.18	0.52	0.82	0.15	0.39	3.66
Huayao	0.86	0.39	0.88	0.11	0.43	0.47	0.30	0.13	0.11	0.29	0.64	0.42	5.03

Nota: ICSA= Índice de calidad de suelo aditivo.

El Cuadro N° 10 nos muestra la clasificación de los suelos experimentales en base a los índices de calidad.

Cuadro N° 10. Clasificación de calidad de suelos en base a los indicadores químicos antes del experimento

Localidad	pH	MO	P	K ₂ O	C I C					CE	CaCO ₃
					Total	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺		
Chupaca	1	1	5	2	1	1	1	3	5	3	1
Santa Ana	5	5	5	5	5	5	5	5	3	1	5
Mantaro	2	4	1	4	5	5	5	5	3	1	5
Huayao	1	4	1	5	3	3	4	5	5	4	2

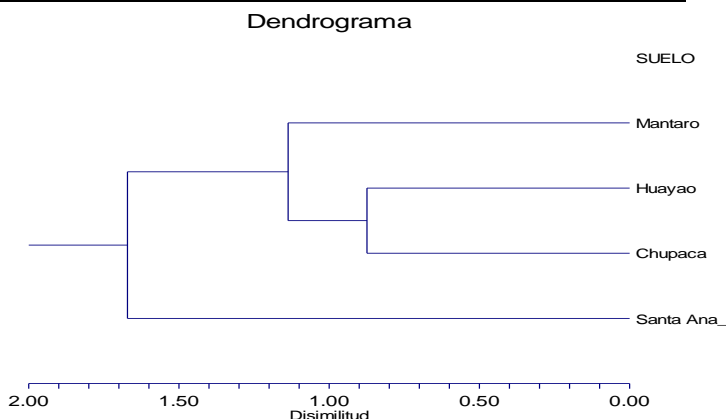


Figura N° 5. Dendograma de suelos experimentales en base a índices de calidad químicos

Sobre la base de los índices de calidad de suelo determinados (Cantú *et al.*, 2007) y luego del análisis de agrupamiento, resulta que los suelos de Chupaca y Huayao tienen similar calidad y son los mejores, le sigue Mantaro y luego Santa Ana, como los de menor calidad. La mejor calidad de suelos se debe a su mayor contenido de materia orgánica y mejor capacidad de intercambio catiónico.

3.3 Fertilidad del suelo al final del experimento

En el Cuadro N° 11 se presentan los resultados finales con respecto a las propiedades físico-químicas de los suelos con cultivo de maíz. Asimismo, se ha elaborado el Cuadro N° 12, en el cual se muestra la variación real de los valores correspondientes a las propiedades físico-químicas del suelo en las cuatro localidades experimentales al final del cultivo bajo los cinco tipos de abonamiento con respecto a los valores iniciales y cuya interpretación es la siguiente:

Cuadro N° 11. Propiedades físico-químicas del suelo en las cuatro localidades experimentales al final del cultivo de maíz tratado con cinco tipos de abonamiento. Laboratorio de Suelos, Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional del Centro del Perú

Localidad	Tratamiento	pH	N (ppm)	P (ppm)	K (ppm)	CE dS/m	CIC Cmol(+)/Kg	Arena	Arcilla	Limo
								%		
Chupaca	Ovino	8.4	1.4	128.14	65.5	0.218	27.43	48.28	24.56	26.56
Chupaca	Cuy	8.5	2.1	80.84	211.0	0.202	27.91	50.88	24.20	24.92
Chupaca	Vacuno	8.5	0.8	86.67	217.0	0.199	25.65	50.88	23.84	25.28
Chupaca	Fertilizante	8.5	0.8	112.53	214.0	0.371	26.83	50.88	22.56	26.56
Chupaca	Control	8.5	0.8	86.67	65.7	0.197	28.85	48.16	22.56	29.28
Santa Ana	Ovino	5.6	1.5	46.83	50.0	0.371	10.11	39.60	17.12	43.28
Santa Ana	Cuy	5.6	0.8	58.24	55.0	0.525	11.76	35.60	17.12	47.28
Santa Ana	Vacuno	5.7	0.9	74.79	56.0	0.407	8.98	36.60	16.40	47.00
Santa Ana	Fertilizante	5.6	0.7	51.25	51.0	0.330	12.97	35.60	17.12	47.28
Santa Ana	Control	5.5	1.1	38.21	52.5	0.423	10.30	35.60	17.12	47.28
Mantaro	Ovino	8.1	1.5	32.74	80.0	0.266	8.85	40.16	22.56	37.28
Mantaro	Cuy	8.2	0.8	63.98	89.5	0.252	6.65	40.16	24.56	35.28
Mantaro	Vacuno	8.1	0.9	66.1	97.5	0.266	10.95	42.16	21.84	36.00
Mantaro	Fertilizante	7.8	0.7	71.38	101.5	0.219	8.32	42.16	22.56	35.28
Mantaro	Control	8.1	1.1	27.03	102.0	0.257	10.84	40.44	23.28	36.28
Huayao	Ovino	8.2	1.4	51.49	61.0	0.264	18.60	52.00	25.28	22.72
Huayao	Cuy	8.3	0.7	60.81	71.0	0.255	18.15	48.72	30.56	20.72
Huayao	Vacuno	8.3	0.7	81.54	81.0	0.247	15.04	51.44	24.56	24.00
Huayao	Fertilizante	8.3	8.7	71.06	65.0	0.259	13.60	49.44	26.56	24.00
Huayao	Control	8.2	0.9	40.07	60.5	0.261	15.79	51.44	24.56	24.00

Cuadro N° 12. Variación real de los valores correspondientes a las propiedades físico-químicas del suelo en las cuatro localidades experimentales al final del cultivo de maíz tratado con cinco tipos de abonamiento con respecto a los valores iniciales

Localidad	Tratamiento	pH	P (ppm)	CE dS/m	Arena	Arcilla	Limo
					%		
Chupaca	Ovino	0.37	106.52	-0.106	3.88	-5.44	0.96

Chupaca	Cuy	0.43	59.22	-0.222	6.38	-5.90	-0.78
Chupaca	Vacuno	0.48	65.05	-0.195	6.28	-6.36	-0.52
Chupaca	Fertilizante	0.50	90.91	0.046	6.18	-7.74	0.66
Chupaca	Control	0.46	65.05	-0.159	3.36	-7.84	4.18
Santa Ana	Ovino	-0.42	22.86	0.214	1.20	-18.48	17.28
Santa Ana	Cuy	-0.34	34.27	0.393	-2.90	-18.58	21.18
Santa Ana	Vacuno	-0.30	50.82	0.304	-2.00	-19.40	20.80
Santa Ana	Fertilizante	-0.43	27.28	0.224	-3.10	-18.78	20.98
Santa Ana	Control	-0.68	14.24	0.317	-3.20	-17.98	20.88
Mantaro	Ovino	0.73	-13.61	0.090	11.76	-17.44	5.68
Mantaro	Cuy	0.78	17.63	0.066	11.66	-15.54	3.58
Mantaro	Vacuno	0.81	19.75	-0.009	13.56	-18.36	4.20
Mantaro	Fertilizante	0.25	25.03	0.056	13.46	-17.74	3.38
Mantaro	Control	0.23	-19.32	0.062	11.64	-17.12	5.18
Huayao	Ovino	0.68	8.08	-0.156	5.60	-4.72	-0.88
Huayao	Cuy	0.24	16.40	-0.204	2.22	0.46	-2.98
Huayao	Vacuno	0.75	36.13	-0.218	4.84	-5.64	0.20
Huayao	Fertilizante	0.46	24.65	-0.176	2.74	-3.74	0.10
Huayao	Control	0.33	-7.34	-0.382	4.64	-5.84	0.90

Sólo en los suelos de Santa Ana el pH ha descendido es decir se ha vuelto más ácido, esto beneficiaría la actividad de los hongos en perjuicio de la actividad bacteriana, lo que sí ha ocurrido en los suelos de las demás localidades. El fósforo se ha incrementado en la mayoría de tratamientos, excepto en Mantaro*ovino, Mantaro*Control y Huayao*Control. Con respecto a CE ha disminuido en Chupaca y Huayao y en los demás suelos se ha elevado, es decir Santa Ana y Mantaro se han salinizado y en Chupaca y Huayao ha disminuido la concentración de sales a favor de los ácidos, tal como lo expresa la reducción del pH. La textura ha cambiado en los suelos.

3.4 Análisis de componentes principales (acp)

Se optó por conveniencia del estudio, de los resultados de la investigación, por la falta de información de datos correspondientes a algunas variables edáficas que no fueron realizadas debido a razones de fuerza mayor, presentar el estudio de ACP para determinar de manera conjunta los índices de calidad de suelos.

Análisis de componentes principales para cultivo de maíz

El Cuadro N° 13 contiene los valores propios del análisis ACP correspondientes a los cinco componentes principales elegidos por ser mayores de 1. Estos explican el 85,84% de la variación total.

Con la información del Cuadro N° 14 se tiene que, los indicadores del primer componente que explican un 32,36% de la variabilidad total, están relacionados con la textura y contenido de carbonatos de calcio del suelo CaCO_3 . Los del segundo componente que explican el 23,9% de variabilidad total, están relacionados al pH y la actividad de actinomicetos y bacterias fijadoras de nitrógeno dentro del humus. El tercer componente explica un 16,3% y comprende los componentes del humus (SHT, AH, RV), las bacterias mesófilas y la biomasa microbiana (BM_C). El cuarto está relacionado con los componentes de la materia orgánica del suelo (MO y carbono orgánico, huminas, respiración y biomasa microbiana de carbono) y el quinto está relacionado a al contenido de nitrógeno, los restos vegetales que también poseen nitrógeno y los descomponedores de este material, los hongos.

Cuadro N° 13. Valores propios correspondientes al análisis de componentes principales (ACP) con las variables físico-químicas y biológicas de los suelos con cultivo de maíz tratado con cinco tipos de abonamiento

	F1	F2	F3	F4	F5
Valor propio	8,090	5,976	4,080	2,225	1,089
% varianza	32,361	23,904	16,320	8,899	4,357
% acumulado	32,361	56,265	72,584	81,483	85,840

Cuadro N° 14. Vectores propios correspondientes al análisis de componentes principales (ACP) con las variables físico-químicas y biológicas de los suelos con cultivo de maíz tratado con cinco tipos de abonamiento

	F1	F2	F3	F4	F5
N	0,085	0,021	0,154	-0,131	-0,474
P	0,213	-0,027	-0,230	-0,101	0,146
pHa	0,181	0,314	-0,107	0,065	0,008
K	0,147	0,095	-0,325	0,112	0,000
MO	0,151	-0,288	0,121	0,318	0,063
CO	0,151	-0,288	0,121	0,318	0,063
SHT	0,224	0,025	0,328	0,159	0,155
AF	0,257	0,012	0,074	0,326	0,177
AH	0,139	-0,160	0,333	-0,160	-0,124
RV	-0,109	-0,126	-0,336	0,159	-0,379
Hum	0,132	-0,307	0,107	0,308	0,058
pHb	0,252	0,280	-0,013	0,023	0,005
CE	-0,203	-0,233	-0,004	-0,166	0,257
Arena	0,323	0,086	0,010	-0,098	-0,077
Arcilla	0,247	0,222	0,130	-0,036	-0,145
Limo	-0,312	-0,145	-0,056	0,082	0,111
CIC	0,292	-0,070	-0,226	0,002	0,022
CaCO	0,317	0,031	-0,114	-0,041	-0,102
UFC_BM	-0,097	0,007	0,421	-0,046	-0,016
UFC_ACT	-0,202	0,307	0,010	0,116	0,026
UFC_HT	0,131	-0,024	-0,219	-0,224	0,579
UFC_BFN	-0,179	0,314	0,029	0,166	0,105
Rb	-0,110	0,284	0,080	0,317	0,098
BM_C	-0,090	-0,085	-0,302	0,423	-0,200
Cm	-0,094	0,301	0,143	0,236	0,127

Nos indica que los suelos de cada una de las localidades luego del tratamiento mantienen su identidad, igual que el momento inicial. El suelo que ha demostrado el mejor comportamiento sería el de Chupaca sin ningún tratamiento, así como el Mantaro con estiércol de ovino y sin abonamiento adicional; de otro lado los suelos de Santa Ana difieren en fertilidad y el suelo que mejor ha respondido es con fertilizante químico. La fertilidad de los suelos de Huayao para el cultivo de maíz es intermedia con respecto a los suelos de las demás localidades. La fertilidad de los suelos de Chupaca y Santa Ana es similar, y de otro lado están Mantaro y Huayao como los mejores.

En base a los cálculos de los índices de calidad del suelo (IC) se ha determinado para el cultivo de maíz, el ICSA indica que los suelos del Mantaro resultan mejores para este cultivo, y los de Santa

Ana de menor calidad. Este resultado corrobora el análisis de componentes principales (ACP) discutido líneas arriba.

Conclusiones

1. Existe diferente nivel de fertilidad de los suelos en estudio y dentro de las parcelas experimentales antes y después de la aplicación de los tratamientos.
2. La adición de **MO** ha acidificado ligeramente el suelo y se estaría iniciando un proceso de degradación del suelo debido al incremento del contenido de arena en el suelo.
3. Para el cultivo de maíz, teniendo en cuenta cinco componentes principales, los ICS serían 17: N, pH, K, MO, SHT, AH, RV, Hum, %arena, %limo, CaCO₃ CIC, UFCBM, UFCACT, UFCHT, UFCBFN, Rb, BM_C.
4. De acuerdo al ICS, para el caso del cultivo de maíz los mejores suelos son de Mantaro y los menos favorables los de Santa Ana.

Referencias

- Andrews, S. S.; D. L. Karlen and J. P. Mitchell. 2002. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California Agriculture, Ecosystems & Environment Volume 90, Issue 1, June, Pages 25-45.
- Andrews et al., 2002. On-farm assessment of soil quality in California's Central Valley. *Agronomy Journal* 94:12-23.
- Brejda et al., Identification of regional soil quality factors and indicators: I. Central and southern high plains. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 2115–2124.
- Brejda et al., 2000. Distribution and Variability of Surface Soil Properties at a Regional Scale. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:974–982.
- Brejda, J.J. and Moorman, T.B.. 2001. Identification and interpretation of regional soil quality factors for the Central High Plains of the Midwestern USA. In: D.E Stott. R.H. Mohtar and G.C. Steinhardt (eds). *Sustaining the Global Farm*. pp.535-540.
- Brussaard et al., 2004. Soil Quality from Biomass to Biodiversity – Importance and Resilience to Management Stress and Disturbance. Schjønning, P., Christensen, B.T., Elmont, S. (Eds) *Managing Soil Quality- Challenges in Modern Agriculture*. CAB International, Wallingford, UK.
- Carter et al., 1997. Concepts of soil quality and their significance. Chapter 1. En Gregorich, E. G.; Carter, M. R. *Soil Quality For Crop Production and Ecosystem Health*. Elsevier. 1997. 1-19.
- Doran J.W. and T. Parkin. 1994. Defining and assessing soil quality. *Soil Science Society of America* 677: 3-21.
- Gregorich, E.G.; Carter, D.; Angers, C. and B. Ellert. 1994. Towards a minimum data set to asses soil organic matter quality in agricultural soils. *Can. J. Soil Sci.* 74: 367-385.
- Karlen et al., 1997. Soil Quality: A Concept, Definition, and framework for Evaluation (A Guest Editorial). *Soil Science Society of America* 61:4-10.
- Karlen, DL; S.S. Andrews, and J.W. Doran. 2001. Soil quality: Current concepts and applications. In *Advances in Agronomy*, Volume 74. Prepared Under the Auspices of the American Society of Agronomy. Volume 24. N. C. Brady. 254 pp m Elsevier Eds.
- Karlen et al., 2003. Soil quality: Humankind's foundation for survival. *Journal of Soil and Water Conservation* 58.
- Larson, W.E. y Pierce, F.J. 1991. Conservation and Enhancement of Soil Quality. In *Evaluation for sustainable land management in the developing world*. En Proc. of the Int. Work-shop on Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World, Chiang Rai. pp. 175-203. 15-21 Sept. 1991. Int. Board of Soil Res. and Manage., Bangkok, Thailand.
- Larson, W. and F. Pierce. 1994. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. *Soil Science Society of America* 677: 37-51.
- USDA. 1999. Soil quality test kit guide. United States Department of Agriculture. Agricultural

Research Service and Natural Resources Conservation Centre. Disponible en:
<http://soils.usda.gov/sqi/kit2.html> y <http://www.nrcs.usda.gov/> . Accesado, agosto 2009.

Warkentin, B. P. 1995. The changing concept of soil quality. *Journal of Soil Sci. and Water Cons.* 50:226-228.