



Quality of Agricultural Soils in the Interior Bay of Puno, Peru–2018

Calidad de los suelos agrícolas en la bahía interior de Puno, Perú–2018

Ing. Katia Andrade Linarez^{I*}, MSc. Isabel Castillo Coaquira^{II}, MSc. Luis Rossel Bernedo^I

^I Universidad Privada San Carlos, Puno, Perú.

^{II} Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.

ABSTRACT. The present research paper determined the quality of agricultural soils in the inner Bay of Puno from Chulluni to the north to Chimu to the south. The study was performed in 8 sampling points with six repetitions each, during the months from August to October. The methods applied were Bouyoucos hydrometric, potentiometric and conductimetric. To determine organic matter the Walkley and Black method was used. For the determination of N, P and K, colorimetric test methods were used. Mehlich extraction method was used for nitrates and phosphorus and the turbidity method for potassium. To evaluate biological parameters, the population counting method was utilized, using entomological tweezers and direct observation for the case of macrofauna. The results showed that the physical and chemical parameters remained closely related. That demonstrates that the soils are in optimal condition. Phosphorus presented 36.8 mg/kg at all points, nitrate presented 0.552% in point 1, potassium presented 117.76 mg/kg at point 3 and organic matter presented 3.80% in point 4. Biological parameters corroborated the above with the number and variety of species of individuals. The studied soils still maintain appropriate characteristics with a moderate quality and fertility, although with high values of nitrates that must be controlled to guarantee the success in future plantations, and an evident anthropogenic contamination that is observed in situ that must be controlled.

Keywords: Parameters, macrofauna, physical-chemical, biological.

RESUMEN. En el presente trabajo de investigación se determinó la calidad de suelos agrícolas de la bahía interior de Puno que comprende desde Chulluni al norte hasta Chimu al sur, se trabajó con 8 puntos de muestreo con seis repeticiones en cada uno, durante los meses de agosto a octubre, los métodos aplicados fueron el hidrómetro de Bouyoucos, potenciométrico y conductimétrico, para la determinación de materia orgánica se trabajó con el método de Walkley y Black. Para la determinación de N, P y K se utilizaron los métodos de ensayo colorimétrico, basados en la extracción Mehlich para el caso de nitratos y fósforo y el método de la turbidez para el potasio. Para evaluar los parámetros biológicos se utilizó el método de conteo de organismos utilizando pinzas entomológicas y de observación directa para el caso de macrofauna. Los resultados demostraron que los parámetros físicos y químicos mantuvieron estrecha relación demostrando que los suelos se encuentran en condiciones óptimas, el fósforo presentó 36.8 mg/kg en todos los puntos, el nitrato presentó 0,552% en el punto 1, el potasio presentó 117.76 mg/kg en el punto 3, la materia orgánica presentó 3.80% en el punto 4; los parámetros biológicos corroboraron lo anterior con el número y variedad de especies de los individuos. Los suelos estudiados aún mantienen características apropiadas con una moderada calidad y fertilidad, aunque con valores altos de Nitratos que deben ser controlados para garantizar el éxito en futuras siembras, y una evidente contaminación antropogénica que se observa in situ que debe ser controlada.

Palabras clave: índices, macrofauna, físico-químicos, biológicos.

* Author for correspondence: Katia Andrade Linarez, e-mail: katiaandradelinarez@gmail.com

Received: 12/12/2019.

Approved: 13/03/2020.

INTRODUCTION

The inner Bay of Puno is a small section of Lake Titicaca, located east of the city of Puno, Peru; it has an area of 16 km² between the promontories of Uros Chulluni and Chimu, and is almost 4 km wide, but most of it is blocked by extensive reeds and leave opened a narrow 300-meter-wide channel near Chimu, which communicates with the outer bay of Puno (Municipalidad de Puno, 2008).

In recent decades, soil degradation has increased considerably and now threatens agricultural soils around the world according to Bednář & Šarapatka (2018), climate change, misuse and excess of pesticides make them susceptible to accumulation due to the processes of adsorption with organic matter and water retention (Leal *et al.*, 2014).

The increase in the use of nutrients processed from organic matter derived from the treatment of urban wastewater, as organic fertilizers that improve the soil, has been one of the main causes contributing to the degradation of agricultural soils (Flores *et al.*, 2007).

The Soil Health Committee of the Soil Science Society of America defines soil quality as the ability of soils to function within the parameters of a managed or natural ecosystem, which is why it is important to improve the quality of soil, water and air to make the productivity of flora and fauna sustainable by generating an ecological balance (García *et al.*, 2012). This concept is also called edaphogenesis according to González *et al.* (2011), however, the ecological balance varies due to different factors, among which are mainly those of anthropogenic origin (Sánchez *et al.*, 2017).

The evaluation of soil quality has various applications in agricultural soil management, through its influence on biogeochemical cycles and greenhouse gas emissions, this being one of the most important factors that directly impact in agricultural soils, considered the main engines of the global climate change (Askari *et al.*, 2015; Li *et al.*, 2018).

The quality of agricultural soils has also been measured by the presence of macrofauna, which is taken into account especially in agricultural practices. It contributes to soil aeration, formation and transformation of the structure in the litterfall according to Lavelle (1996) and it is affected mainly by tillage and misuse of chemical inputs. That is clearly reflected in the decrease in biomass of these populations, due to their susceptibility to various factors. Macrofauna is considered a parameter of soil quality according to Pareja *et al.* (2011) as well as the diversity of taxa and dominant groups (Huerta *et al.*, 2008).

Macroinvertebrates provide environmental services such as nutrient sequestration, especially soil carbon, according to Nabiollahi *et al.*, (2018). They have been considered the engineers of the ecosystem, since these activities have direct effects on the properties of soils as well as intervening in the processes of humification and mineralization of organic matter (Gutiérrez *et al.*, 2003). These activities are carried out together with *Rhizobium* through the combination of pores and aggregates of different sizes (Lavelle *et al.*, 2006), which have an impact on soil fertility. The content of organic

INTRODUCCIÓN

La bahía Interior de Puno es una pequeña sección del lago Titicaca, ubicada al este de la ciudad de Puno, Perú; tiene una superficie de 16 km² entre los promontorios de Uros Chulluni y Chimu, y tiene un estrecho de casi 4 km de ancho, pero la mayor parte se encuentra bloqueada por extensos totorales y dejan abierto un angosto canal de 300 metros de ancho cerca de Chimu, que comunica con la bahía exterior de Puno (Municipalidad de Puno, 2008).

En las últimas décadas, la degradación de suelos ha aumentado de manera considerable y en la actualidad amenaza a los suelos agrícolas de todo el mundo según Bednář y Šarapatka (2018), el cambio climático, el mal uso y exceso de plaguicidas los hace susceptibles a la acumulación de estos debido a los procesos de adsorción con la materia orgánica y la retención en agua (Leal *et al.*, 2014).

El aumento del uso de nutrientes procesados a partir de materia orgánica derivada del tratamiento de aguas residuales de origen urbano, como fertilizantes orgánicos mejoradores de suelo, ha sido uno de las principales causas que ha contribuido con la degradación de suelos agrícolas, (Flores *et al.*, 2007).

El Comité para la salud del suelo de la Soil Science Society of America define calidad de suelos como la capacidad de estos para funcionar dentro de los parámetros de un ecosistema manejado o natural, por ello es importante mejorar la calidad del suelo, agua y aire; de esta manera se busca hacer sostenible la productividad de la flora y la fauna generando un equilibrio ecológico según (García *et al.*, 2012), este concepto es también denominado edafogénesis según (González *et al.*, 2011), sin embargo, el equilibrio ecológico varía por diferentes factores, entre los cuales destacan principalmente los de origen antrópico (Sánchez *et al.*, 2017).

La evaluación de la calidad del suelo tiene diversas aplicaciones en la gestión de suelos agrícolas, a través de su influencia sobre los ciclos biogeoquímicos y las emisiones de gases que causan el efecto invernadero, siendo este uno de los factores de mayor relevancia que impactan directamente en las propiedades de los suelos agrícolas considerados como los principales motores del cambio climático a nivel global (Askari *et al.*, 2015; Li *et al.*, 2018).

La calidad de suelos agrícolas ha sido medida también por la presencia de la macrofauna, las que son tomadas en cuenta sobre todo en las prácticas agrícolas, estas aportan en la aireación del suelo, formación y transformación de la estructura en la hojarasca de acuerdo con Lavelle (1996), siendo afectada sobre todo por la labranza y mal uso de los insumos químicos, esto se refleja claramente en la disminución de la biomasa de dichas poblaciones, debido a su susceptibilidad ante diversos factores, la macrofauna es considerada como un parámetro de la calidad de los suelos según Pareja *et al.* (2011), por otro lado, la diversidad de taxas y grupos dominantes revelan datos acerca de la calidad del suelo agrícola (Huerta *et al.*, 2008).

Los macroinvertebrados prestan servicios ambientales como el secuestro de nutrientes en especial el carbono del suelo según Nabiollahi *et al.*, (2018), estos han sido considerados como los ingenieros del ecosistema, pues estas actividades ejercen efectos directos en las propiedades de los suelos, además de intervenir en los procesos de humificación y mineralización de la materia orgánica de acuerdo con Gutiérrez *et al.* (2003), estas actividades las realizan en conjunto con los *Rhizobium* a través de la combinación de poros y agregados de diferente tamaño según Lavelle *et al.* (2006), las cuales repercuten en la fertilidad de los suelos además,

matter, diversity of microorganisms and organisms establish the quality and condition of the soil.

Agricultural activity in Puno, Peru, is one of the main activities in the region, especially for the rural population, who is dedicated to this activity. Among the most important products grown are quinoa, cañihua, beans, oca, potatoes, barley grain, green beans and cultivated grasses, among others, which have a very good perspective at the global level because they are agro-ecological products (MINAM, 2013).

Research on the evaluation of agricultural soil quality allows constant monitoring in certain areas, identifying changes in their properties and characteristics and thus proposing appropriate management practices (Franzlubbers & Haney, 2006).

The analysis of physical, chemical and biological parameters generally allows the quantification, communication and simplification of the phenomena that determine if the use of the resource is sustainable (Bautista *et al.*, 2004). Knowing the agricultural importance of the study zone over time and the visible anthropic contamination of the area, the objective of this work was to find out the quality of the agricultural soils in the interior Bay of Puno, Peru-2018.

METHODS

The present research work was carried out in the interior Bay of Puno, from Uros Chulluni to Chimu (Figure 1), considering 8 sampling points (Table 1).

el contenido de la materia orgánica, diversidad de microorganismos y organismos establecen la calidad y estado del suelo.

La actividad Agrícola en Puno, Perú, constituye una de las actividades principales de la región, sobre todo para la población rural, que se dedica a esta actividad; entre los productos más importantes que se cultivan está la quinua, cañihua, habas, oca, papa, grano de cebada, haba de grano verde, y pastos cultivados, entre otros, los cuales presentan una muy buena perspectiva a nivel mundial por tratarse de productos agroecológicos (MINAM, 2013).

Las investigaciones acerca de la evaluación de la calidad de suelos agrícolas permiten hacer monitoreos constantes en determinadas áreas, además de identificar cambios que se dan en sus propiedades, características y de esta manera proponer prácticas adecuadas de manejo según Franzlubbers y Haney (2006).

El análisis de los parámetros físicos, químicos y biológicos generalmente permiten cuantificar, comunicar y también simplificar los fenómenos que determinan si el uso del recurso resulta sostenible (García *et al.*, 2012), además estos parámetros no se escogen al azar, por el contrario son considerados en todos los casos para poder realizar una correcta comparación tanto a nivel local, nacional e internacional (Bautista *et al.*, 2004). Conociéndose la importancia agrícola de la zona de estudio a través del tiempo y la visible contaminación antrópica de la zona, se planteó conocer la calidad de los suelos agrícolas en la bahía interior de Puno, Perú-2018.

MÉTODOS

El presente trabajo de investigación se realizó en la Bahía interior de Puno que comprende desde Uros Chulluni hasta Chimu (Figura 1) considerándose 8 puntos de muestreo (Tabla 1).

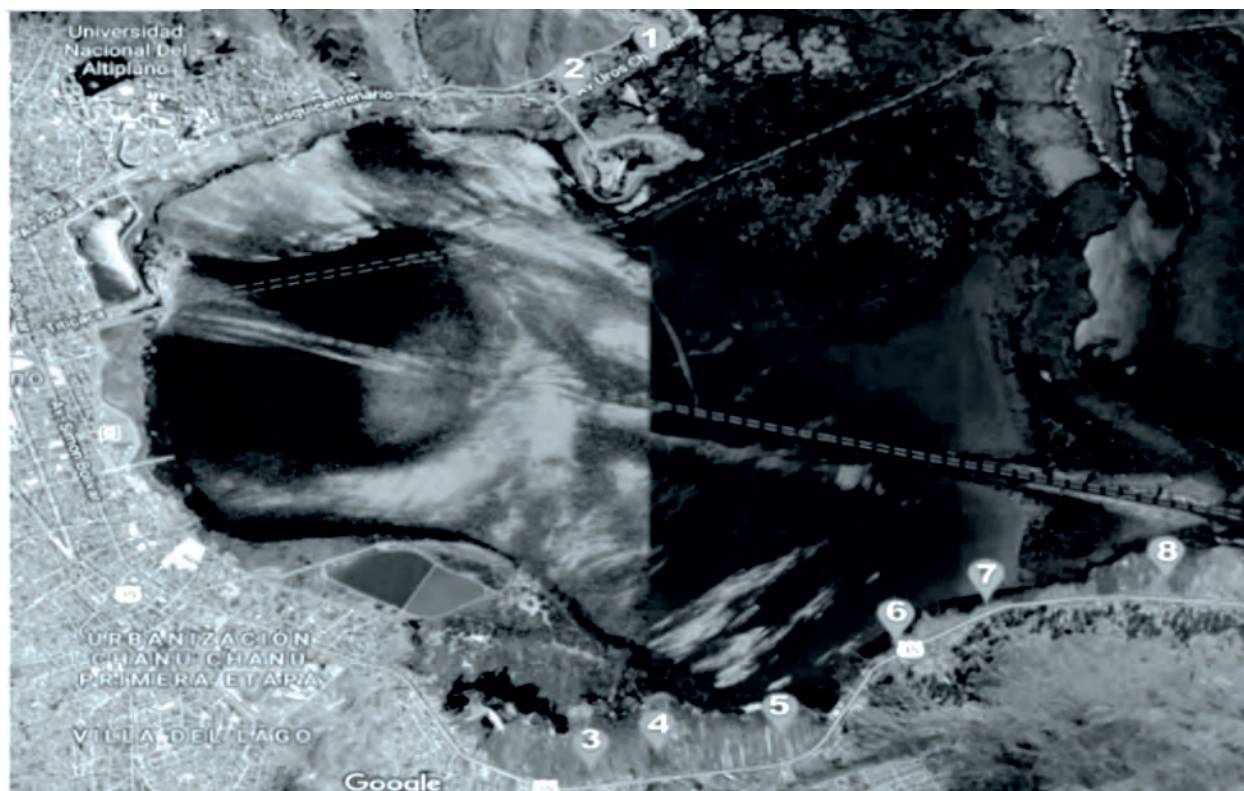


FIGURE 1. Interior bay of Lake Titicaca Puno-Peru (sampling points). Source: Geographic location through GPS. Modified from Google maps.
 FIGURA 1. Bahía interior del Lago Titicaca Puno-Perú (puntos de muestreo). Fuente: Ubicación Geográfica a través del GPS. Modificado de Google maps.

TABLE 1. Sampling points
TABLA 1. Puntos de muestreo

| Nº. Point | Coordinate, UTM |
|-----------|-----------------------------------|
| 1 | 15°49'17.1599" S 69°59'28.3800" W |
| 2 | 15°49'25.3801" S 69°59'42.3800" W |
| 3 | 15°51'50.4601" S 69°59'39.5400" W |
| 4 | 15°51'48.5399" S 69°59'27.4800" W |
| 5 | 15°51'43.0801" S 69°59'06.6600" W |
| 6 | 15°51'21.2400" S 69°58'46.5600" W |
| 7 | 15°51'13.0201" S 69°58'30,1800" W |
| 8 | 15°51'09.3600" S 69°58'01,3200" W |

Forty-eight agricultural soil samples were collected at the eight sites, with six replicates from the Puno inland bay, during the months of August, September and October (the months after harvest and before the first planting). The samples were taken from 0 to 30 cm deep using the zigzag method according to the guide for soil (MINAM, 2014). Soil samples were taken in standardized plastic bags, hermetically sealed, and taken to the laboratory for detailed analysis. These samples were dried at room temperature and sieved by 0.5 mm.

Physical Parameters

For the evaluation of physical parameters, particle size analysis was performed using the Bouyoucos hydrometer method according to Sandoval *et al.* (2010) and, in special cases to determine the percentage of silt clay and sand, the pipette method according to Burt (2014), was used, which is considered an accurate method for particle size determination that quantifies the mineral particles in the soil in gravimetric form. Dry and wet colors were determined using the Munsell Table (Munsell Colour Company, 2000).

Chemical Parameters

In the evaluation of chemical parameters, the potentiometric method with soil-water ratio (1:2.5) according to Peech (1965), was used for pH, and the conductivity method with soil-water ratio (1:5) according to Richards (1954). was used for electrical conductivity. For the determination of organic matter, the method by wet digestion with dichromate in acid medium was used. For the determination of N, P and K, the colorimetric test methods, based on Mehlich extraction nitrate and phosphorus and the turbidity method for potassium according to Ståhlberg (1979) were used.

Biological Parameters

To evaluate biological parameters, the method of counting populations of annelids, mollusks and arthropods according to Berovides *et al.* (2005) was used. These organisms were counted with entomological tweezers, and once obtained they were taxonomically classified with the help of the stereoscopic and specialized literature. The method used to record the

Se recolectaron 48 muestras de suelos agrícolas en los 8 puntos, con 6 repeticiones provenientes de la bahía interior de Puno, durante los meses: agosto, septiembre y octubre (meses que están después de la cosecha y antes de la primera siembra). Las muestras fueron tomadas de 0 a 30 cm de profundidad empleándose el método de zigzag de acuerdo a la guía para el muestreo de suelos (MINAM, 2014). Las muestras de suelo fueron tomadas en bolsas de plástico normadas, cerradas herméticamente, llevados al laboratorio para ser analizados minuciosamente, estas muestras fueron secadas a temperatura ambiente y tamizadas por 0,5 mm.

Parámetros físicos

Para la evaluación de los parámetros físicos, se realizó el análisis de tamaño de partículas utilizando el método del hidrómetro de Bouyoucos según Sandoval *et al.* (2010) y en casos especiales para determinar el porcentaje de arcilla limo y arena, se usó el método de la pipeta según Burt (2014), el cual es considerado un método exacto para la determinación granulométrica que cuantifica las partículas minerales del suelo en forma gravimétrica. Se determinó el color en seco y en húmedo utilizando la tabla Munsel (Munsell Colour Company, 2000).

Parámetros químicos

En la evaluación de los parámetros químicos se utilizaron para el pH el método potenciométrico con la relación suelo-agua (1:2,5) según Peech (1965), para la conductibilidad eléctrica se utilizó el método conductimétrico en relación suelo-agua (1:5), según Richards (1954). Para la determinación de materia orgánica se trabajó con el método por digestión húmeda con dicromato en medio ácido. Para la determinación de N, P y K se utilizaron los métodos de ensayo colorimétrico, basados en la extracción Mehlich, para el caso de nitratos y fósforo y el método de la turbidez para el caso del potasio según Ståhlberg (1979).

Parámetros biológicos

Para evaluar los parámetros biológicos se utilizó el método de conteo de poblaciones de anélidos, moluscos y artrópodos según Berovides *et al.* (2005); estos organismos fueron contados con pinzas entomológicas, una vez obtenidos fueron clasificados taxonómicamente con ayuda del estereoscópico y literatura especializada. El método utilizado para el registro de

macrofauna was by direct observation using a classification and counting table (Lang *et al.*, 2011).

Macrofauna living under the ground were sampled at two depths (0-15 cm and 0-30 cm). They were classified into groups of invertebrates according to their taxonomic characteristics.

To obtain the results, it was used the statistical package ANOVA with a 95% confidence level to determine if there were a difference between the 8 points of analysis. If a difference were found in the analysis, TUKEY analysis was applied to identify which points make the difference (Di Rienzo *et al.*, 2008).

According to Minagri (2015) there are various world classifications of soils, in the case of Peru, FAO Classification on Geo-edaphic Regions is widely used, the area of Lake Titicaca belonging to the Kastan-Solian Region, where soils originating from lakes (planosols) and soils with poor drainage (gleysols) predominate.

This region is a traditional agricultural area, with intensive use for thousands of years, growing mainly cereals, tubers, legumes and some vegetables. The upper parts of the grasslands are used for livestock purposes and the lower parts for permanent crops such as fruit trees. The surrounding soils are of the alluvial type with slow edaphization and in some parts with a high content of organic matter, belonging to the Limnos Association and the Titicaca Association.

RESULTS AND DISCUSSION

The physicochemical properties of the soil play an important role in the development of crops, which at optimal levels allow the generation of biological properties that benefit plant growth, so it is necessary to optimize soil fertility based on the control of soil fertility and crop nutrition.

In order to know the quality of agricultural soils in the interior Bay of Puno, Peru, the soils were analyzed according to the methodology of García *et al.* (2012), with the objective of determining the quality of agricultural soils in the bay mentioned based on physical, chemical and biological parameters.

Physical-Chemical Parameters

The physical results of the agricultural soils were notoriously different. Points 1 and 2 were clayey, points 3, 4, 5 showed mixed characteristics between clayey and sandy, while points 6, 7, and 8 were strictly sandy with brown coloring.

According to the granulometric analysis, it was determined that the agricultural soils of the Uros-Chulluni and Chimu population centers have texture classes sandy loam and loamy loam, according to the United States Department of Agriculture's triangular texture scheme USDA-NRCS (2005). Sandy soils lack metal fixing capacity and the water table may be contaminated. In addition, they present soft characteristics with 1% of organic content and hydromorphic soils with calcium horizons, molic gleysols in the flat lands, solonets and solonshack in the depressions.

As observed in the month of August after harvest, points 2 and 3 presented the highest percentage of nitrates; points 3, 1 and 4 presented the highest amount of potassium; points

la macrofauna fue por observación directa utilizando una tabla de clasificación y conteo (Lang *et al.*, 2011).

La macrofauna que viven bajo el suelo se muestreó a dos profundidades (de 0 – 15 cm y de 0 a 30 cm), Esta se clasificó en grupos de invertebrados según sus características taxonómicas.

Para la obtención de los resultados se trabajó con el paquete estadístico ANOVA con un nivel de confianza al 95% para determinar si existe diferencia entre los 8 puntos de análisis; si se encuentra diferencia en el análisis, aplicamos en análisis de TUKEY con el que encontraremos que puntos hacen la diferencia (Di Rienzo *et al.*, 2008).

Según Minagri (2015), existen diversas clasificaciones mundiales de suelos, en el caso del Perú es muy usada la clasificación sobre Regiones Geoedáficas, de la FAO, perteneciendo la zona del lago Titicaca a la Región kastanosólica, donde predominan los suelos originados de lagos (planosoles) y suelos con mal drenaje (gleisoles).

Esta región es un área agrícola tradicional, con un uso intensivo hace miles de años, cultivándose principalmente cereales, tubérculos, leguminosas y algunas hortalizas. Las partes altas de pastizales son usadas con fines pecuarios y las partes bajas a cultivos permanentes como frutales. Los suelos aledaños son del tipo aluvial con una edafización lenta y en algunas partes con gran contenido de materia orgánica, perteneciendo a la Asociación Limnos y Asociación Titicaca.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las propiedades fisicoquímicas del suelo juegan un papel importante en el desarrollo de los cultivos, las cuales en niveles óptimos permiten la generación de propiedades biológicas que benefician el crecimiento de las plantas, por lo que es necesario optimizar la fertilidad de los suelos basados en el control de la fertilidad de los suelos y de la nutrición de los cultivos.

Con el fin de conocer la calidad de los suelos agrícolas en la bahía interior de Puno, Perú, los suelos fueron analizados según la metodología de García *et al.* (2012), con el objetivo de determinar la calidad de los suelos agrícolas de la bahía interior de Puno en base a los parámetros físicos, químicos y biológicos.

Parámetros fisicoquímicos

Los resultados físicos de los suelos agrícolas fueron notoriamente diferentes, los puntos 1 y 2 fueron arcillosos, los puntos 3, 4,5 mostraron características mixtas entre arcillosos y arenosos, mientras que en los puntos 6, 7, y 8 fueron estrictamente arenosos con coloración marrón.

Según el análisis granulométrico, se determinó que los suelos agrícolas del centro poblado Uros-Chulluni y de Chimu son de la clase de textura, franco arenoso, franco y franco limoso, según el esquema triangular de las texturas del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos USDA-NRCS (2005); los suelos arenosos carecen de capacidad de fijación de metales y puede contaminarse el nivel freático, además, presentan características blandas con 1% de contenido orgánico y suelos hidromórficos de horizontes cálcicos, gleisoles mólicos en los terrenos llanos, solonets y solonshack en las depresiones.

Según lo observado en el mes de agosto después de la cosecha, los puntos 2 y 3 presentaron mayor porcentaje de nitratos, los puntos

3, 8 and 1 the highest amount of phosphorus; points 5, 2 and 4 the highest percentage of organic matter; points 1 and 2 with the highest pH and finally points 7, 8 and 2 presented the highest electrical conductivity (EC). In Table 2, the results related to the physical characteristics of each sampling point are shown. These results are related to the presence in the area of waste drains and agricultural soils rich in fertilizers, which contain high levels of nitrogen (N) and phosphorus (P), so it can be considered that the fertility of the arable layer is moderate, as it presents high levels of organic matter and phosphorus, and medium levels of potassium, with a suitability for pasture.

The pH of the soils sampled are moderately alkaline (Table 2 and Table 4), mostly found within the range of Canadian soil quality standards (pH: 6-8), except for points 1 with pH = 8.71 and 2 with pH = 8.61, possibly in the presence of calcium carbonate, which indicates that precipitation occurs as hydroxides. However, in very alkaline environments these hydroxides can pass back into solution as hydroxycomplexes. Clayey soil usually contains 40 to 50 percent clay, little organic matter and a high proportion of calcium carbonate.

It is important to remember that according to Villar & Villar, (2016), the distribution of nutrients in the soil occurs mainly through concentration gradients, where elements such as phosphorus and potassium move from the concentration gradients, i.e. at high speed, which have to be redistributed in the soil to be absorbed by the plants' root system, so this may be the reason why a higher percentage is found in the ploughable area of the sampling points.

3, 1 y 4 presentaron mayor cantidad de potasio, los puntos 3, 8 y 1 una mayor cantidad de fósforo, los puntos 5, 2 y 4 mayor porcentaje de materia orgánica, los puntos 1 y 2 con el pH más alto y finalmente los puntos 7, 8 y 2 presentaron la mayor conductividad eléctrica (CE) (Tabla 2), resultados relacionados con las características físicas de cada punto de muestreo. Estos resultados están relacionados con la presencia en la zona de drenajes de residuos y suelos agrícolas ricos en fertilizantes, que contienen elevados niveles de nitrógeno (N) y fósforo (P), por lo que se puede considerar que la fertilidad de la capa arable es moderada, por presentar niveles altos en materia orgánica y fosforo, y medio en potasio, con una aptitud para pastos.

El pH los suelos muestreados son moderadamente alcalinos (Tabla 2 y Tabla 4) mayormente encontrados dentro del rango de los estándares de calidad de suelos canadiense (pH: 6-8), a excepción de los puntos 1 con pH= 8.71 y 2 con pH= 8.61, posiblemente a la presencia de carbonato de Calcio, lo que nos indica que se produce la precipitación como hidróxidos, Sin embargo, en medios muy alcalinos estos hidróxidos pueden pasar de nuevo a la solución como hidroxicomplejos, el suelo arcilloso suele contener del 40 al 50 por ciento de arcilla, poca materia orgánica y una elevada proporción de carbonato cálcico.

Es importante recordar que según Villar y Villar, (2016), la distribución de nutrientes en el suelo se produce principalmente por gradientes de concentración, donde elementos como el fósforo y el potasio se mueven a partir de los gradientes de concentración, es decir, a gran velocidad, los cuales tiene que redistribuirse en el suelo para ser absorbidos por medio del sistema radical de las plantas, por lo que es posible que esta sea la razón de que se encuentre mayor porcentaje en la zona aradable de los puntos de muestreo.

TABLE 2. Physical-chemical parameters of the agricultural soils in the interior Bay of Puno, Peru
TABLA 2. Parámetros Físicoquímicos de los suelos agrícolas en la bahía interior de Puno, Perú

| Physical and chemical parameters | | | | | | |
|----------------------------------|-------------|-------------------|--------------------|--------------------|------|------------|
| Sampling points | Nitrate (%) | Potassium (mg/kg) | Phosphorus (mg/kg) | Organic Matter (%) | pH | CE (µs/cm) |
| 1 | 0.147 | 66.24 | 36.8 | 3.5 | 8.71 | 247 |
| 2 | 0.589 | 27.6 | 27.6 | 3.66 | 8.61 | 359 |
| 3 | 0.552 | 80.96 | 55.2 | 2.86 | 8.37 | 205 |
| 4 | 0.368 | 66.24 | 36.8 | 3.66 | 8.21 | 329 |
| 5 | 0.368 | 44.16 | 27.6 | 3.9 | 8.24 | 149.4 |
| 6 | 0.221 | 36.8 | 27.6 | 3.32 | 8.3 | 302.6 |
| 7 | 0.368 | 44.16 | 27.6 | 3.02 | 8.22 | 983 |
| 8 | 0.221 | 44.16 | 55.2 | 2.94 | 8.48 | 519 |

In the month of August after the harvest, it was observed that 87.5% of the agricultural soils presented a condition of nitrate above the optimum, 100% presented a condition of very low potassium, 50% of phosphorus presented a medium condition and 50% in optimum condition. Regarding electrical conductivity, 62.5% presented a condition above the optimum followed by 25% that presented an optimum condition and 12.5% that presented a medium condition (Table 3). These conditions have been compared with those established by Villar & Villar, (2016), adapted from FAO for the analysis of soil fertility.

These results demonstrate the excessive use of nitrogen fertilizers in the study area, which can cause losses of nitro-

En el mes de agosto después de la cosecha se observó que el 87.5% de los suelos agrícolas presentan una condición de nitrato por arriba del óptimo, el 100% presenta una condición de potasio muy bajo, el 50% de fósforo presenta una condición medio y un 50% en condición óptima, con respecto a la conductividad eléctrica el 62.5% presentó una condición por arriba del óptimo seguido del 25% que presentó una condición óptima y el 12.5% que presentó una condición media (Tabla 3). Estas condiciones han sido comparadas con las establecidas por Villar y Villar, (2016), adaptadas de la FAO para el análisis de la fertilidad de suelos.

Estos resultados demuestran el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados en la zona de estudio, lo que puede ocasionar

gen to the subsoil in the form of nitrates (NNO3), with risks of contaminating the aquifers and consequently the pumping water used to irrigate the crops and making the plants toxic. Therefore, it can be said that there is an over-fertilization with nitrogen in the area, which affects the levels of potassium and phosphorus and adversely affects the productivity and quality of cultivated food.

pérdidas de nitrógeno hacia el subsuelo en forma de nitratos (NNO3), con riesgos de contaminar los mantos acuíferos y por consiguiente el agua de bombeo que se utiliza para regar los cultivos y volver tóxicos en las plantas. Por lo que se puede decir que existe en la zona una sobrefertilización con nitrógeno, que afecta los niveles de potasio y fósforo y de manera adversa la productividad y calidad de alimentos cultivados.

TABLE 3. Evaluation of the chemical parameters (in percentage) of the agricultural soils in the interior Bay of Puno, Peru after the harvest

TABLA 3. Evaluación de los parámetros químicos en porcentaje de los suelos agrícolas en la bahía interior de Puno, Perú después de la cosecha.

| Condition | Chemical Parameters | | | | | | | |
|---------------|---------------------|-------|-----------|-------|------------|-------|------------|-------|
| | Nitrate | | Potassium | | Phosphorus | | CE (µs/cm) | |
| | Frec. | % | Frec. | % | Frec. | % | Frec. | % |
| Very poor | 0 | 0 | 8 | 100.0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Poor | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Medium | 1 | 12.5 | 0 | 0 | 4 | 50.0 | 1 | 12.5 |
| Optimal | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 50.0 | 2 | 25.0 |
| Above optimal | 7 | 87.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 62.5 |
| Total | 8 | 100.0 | 8 | 100.0 | 8 | 100.0 | 8 | 100.0 |

Source: Own elaboration. **Fuente:** Elaboración propia.

For the month of October before sowing, point 1 showed a higher percentage of nitrate, points 2 and 3 a higher quantity of potassium, points 1, 2, 3, 4, 5, 6 and 8 a higher quantity of phosphorus, points 8 and 4 a higher percentage of organic matter; points 8, 4 and 5 showed the highest pH and finally points 7, 2 and 6 showed the highest electrical conductivity (Table 4).

The excess of nitrates detected indicates that the doses of nitrogen applied to the soil are high or that the current fertilization recommendations for the area's crops are not the most appropriate for the region. In the case of pH, the plants grown generally show their best development in values close to neutral, since in these conditions the nutrients are more readily available and in a more appropriate balance, which, in this case, causes an increase in the presence of potassium and phosphorus, although generally the soils in agricultural areas normally have pH values between 4,5 and 9,5.

Para el mes de octubre antes de la siembra se observó en el punto 1 un mayor porcentaje de nitrato, en los puntos 2 y 3 una mayor cantidad de potasio, en los puntos 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 8 una mayor cantidad de fósforo, los puntos 8 y 4 mayor porcentaje de materia orgánica; los puntos 8, 4 y 5 presentaron el pH más alto y finalmente los puntos 7, 2 y 6 presentaron la mayor conductividad eléctrica (Tabla 4).

El exceso de nitratos detectados, indican que las dosis de nitrógeno aplicadas al suelo son altas o que la recomendación de fertilización actual para los cultivos de la zona no son las más adecuadas para la región; en el caso del pH, las plantas cultivadas en general presentan su mejor desarrollo en valores cercanos a la neutralidad, ya que en estas condiciones los elementos nutritivos están más fácilmente disponibles y en un equilibrio más adecuado, lo que en este caso ocasiona un aumento en la presencia de potasio y fósforo, aunque generalmente los suelos en zonas agrícolas tienen normalmente valores de pH entre 4,5 y 9,5.

TABLE 4. Chemical parameters of agricultural soils in the interior Bay of Puno, Peru before the harvest season
TABLA 4. Parámetros químicos de los suelos agrícolas en la bahía interior de Puno, Perú antes de la época de cosecha

| Sampling Points | Chemical Parameters | | | | | |
|-----------------|---------------------|-------------------|--------------------|--------------------|------|------------|
| | Nitrate (%) | Potassium (mg/kg) | Phosphorus (mg/kg) | Organic Matter (%) | pH | CE (µs/cm) |
| 1 | 0.552 | 58.88 | 36.8 | 3,47 | 7.9 | 240 |
| 2 | 0.147 | 110.40 | 36.8 | 3,50 | 7.51 | 270.5 |
| 3 | 0.037 | 117.76 | 36.8 | 3,40 | 8.45 | 198.5 |
| 4 | 0.037 | 58.88 | 36.8 | 3,80 | 8.9 | 198.4 |
| 5 | 0.221 | 58.88 | 36.8 | 3,50 | 8.9 | 112.9 |
| 6 | 0.147 | 51.52 | 36.8 | 3,10 | 8.6 | 268.4 |
| 7 | 0.221 | 58.88 | 27.6 | 3,16 | 8.28 | 349 |
| 8 | 0.074 | 58.88 | 36.8 | 3,94 | 8.91 | 189.1 |

Source: Own elaboration. **Fuente:** Elaboración propia.

The 37.5% of the agricultural soils presented a condition of nitrate above the optimum, it was observed that 25% presented a medium condition, with the same percentage was observed a very low condition and 12.5% with a low condition. In addition, 100% presented a very low potassium condition, 87.5% presented an optimum phosphorus condition and 12.5% a medium condition, 37.5% presented an electrical conductivity condition above the optimum and the same percentage, an optimum condition followed by 12.5% that presented a medium condition and the same percentage a low condition (12.5%) (Table 5).

According to Gian (2015) the population center of Uros-Chulluni, presents a moderate capacity of use of the soils, observing that at least a third of the lands of the Titicaca-Desaguadero-Poopó-Salar de Coipasa (TDPS) system are being overexploited above their capacity of use, above all in the marginal lands and not suitable for annual, permanent crops, with a loss of agricultural soils determined basically by erosion and salinization.

El 37.5% de los suelos agrícolas presentaron una condición de nitrato por arriba del óptimo, se observó que un 25% presentó una condición media, con el mismo porcentaje se observó una condición muy baja y un 12.5 % con una condición baja. En el caso del potasio el 100% presentó una condición de potasio muy bajo, con respecto al fósforo el 87.5% presentó una condición de fósforo óptima y el 12.5% una condición media, el 37.5% presenta una condición de conductividad eléctrica por arriba del óptimo e igual porcentaje una condición óptima seguido del 12.5% que presenta una condición media y el mismo porcentaje una condición baja 12.5% (tabla 5).

Según Gian (2015), el centro poblado de Uros-Chulluni, presenta una moderada capacidad de uso de los suelos, observándose que por lo menos una tercera parte de las tierras del sistema Titicaca-Desaguadero-Poopó-Salar de Coipasa (TDPS) está siendo sobre explotada por encima de su capacidad de uso, sobre todo en la tierra marginales y no aptas para cultivos anuales, permanentes, con una pérdida de suelos agrícolas determinada básicamente por la erosión y salinización.

TABLE 5. Assessment of chemical parameters (in percentage) of agricultural soils in the interior Bay of Puno, Peru (month of October before planting)

TABLA 5. Evaluación en porcentaje de los suelos agrícolas en la bahía interior de Puno, Perú por parámetros químicos (mes de octubre antes de la siembra)

| Condition | Nitrate | | Potassium | | Phosphorus | | CE ($\mu\text{s}/\text{cm}$) | |
|---------------|---------|-------|-----------|-------|------------|-------|--------------------------------|-------|
| | Frec. | %. | Frec. | % | Frec. | % | Frec. | % |
| Very poor | 2 | 25.0 | 8 | 100.0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Poor | 1 | 12.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 12.5 |
| Medium | 2 | 25.0 | 0 | 0 | 1 | 12.5 | 1 | 12.5 |
| Optimal | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 87.5 | 3 | 37.5 |
| Above optimal | 3 | 37.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 37.5 |
| Total | 8 | 100.0 | 8 | 100.0 | 8 | 100.0 | 8 | 100.0 |

Source: Own elaboration. Fuente: Elaboración propia.

In previous studies, it has been shown that, agricultural, urban, forest and grassland land use types, have a positive relationship with nutrients, sediments and pesticide compounds used in a watershed (Sun *et al.*, 2013).

Biological Parameter

During the evaluation of the biological parameter it was observed that the number of organisms belonging to the macrofauna increased as the planting months approached, with more organisms being found at sampling point 7 followed by 8, where a sandy substrate with high concentrations of nitrate, organic matter and higher electrical conductivity was observed (Figure 2). That indicates that agricultural soils improve their quality and fertility thanks to the presence of these organisms in the soil. These results are similar to those obtained by Lang *et al.* (2011), who worked evaluating the behavior of soil macrofauna in mango and sugarcane plantations in the state of Veracruz Mexico, which concluded that worms in mango constitute the main reference of soil quality, explained mainly by its organic matter content (3.98%).

The benthic macrofauna of Lake Titicaca has also reacted to the strong local eutrophication of the interior Bay of Puno

En estudios anteriores, los tipos de usos de suelo agrícola, urbano, bosques y pastizales, han mostrado tener una relación positiva con los nutrientes, sedimentos, compuestos de pesticidas usados en una cuenca (Sun *et al.*, 2013).

Parámetro Biológico

Durante la evaluación del parámetro biológico se observó que el número de organismos pertenecientes a la macrofauna aumentó a medida que los meses de siembra se acercaban, encontrándose más organismos en los puntos de muestreo 7 seguido del 8, donde se observó un sustrato arenoso con altas concentraciones de nitrato, materia orgánica y mayor conductividad eléctrica (Figura 2), lo cual refleja que los suelos agrícolas mejoran su calidad y fertilidad gracias a la presencia de estos organismos en el suelo; estos resultados son similares a los obtenidos por Lang *et al.* (2011), quienes trabajaron evaluando el comportamiento de la macrofauna edáfica en plantaciones de mango y caña de azúcar en el estado de Veracruz México, los cuales concluyen que las lombrices en mango constituyen la principal referencia de calidad del suelo, explicado principalmente por su contenido de materia orgánica (3.98%).

La macrofauna bentónica del lago Titicaca ha reaccionado igualmente a la fuerte eutrofización local de la bahía interior de

and to the mining effluents of the main lake. In the first case, several evidences show that the eutrophication of the interior Bay of Puno is already quite advanced and reaches a strong level of environmental stress which reflects that the soils of the study areas present high concentrations of nutrients that benefit the presence of this type of fauna.

According to FAO (2009), because the soil would run out of enough water to feed all the mesofauna and plants that depend on the soil to survive.

Puno y a los efluentes mineros del lago principal. En el primer caso, varias evidencias demuestran que la eutrofización de la bahía interior de Puno se encuentra ya bastante avanzada y llega ya a un fuerte nivel de stress ambiental, lo que refleja que los suelos de las zonas de estudio presentan altas concentraciones de nutrientes que benefician la presencia de este tipo de fauna.

Según FAO (2009), es necesario que el suelo mantenga un equilibrio en su permeabilidad, evitando permearse el 100% del agua porque el suelo se quedaría sin agua suficiente para poder alimentar a toda la mesofauna y plantas que dependen del suelo para poder sobrevivir.

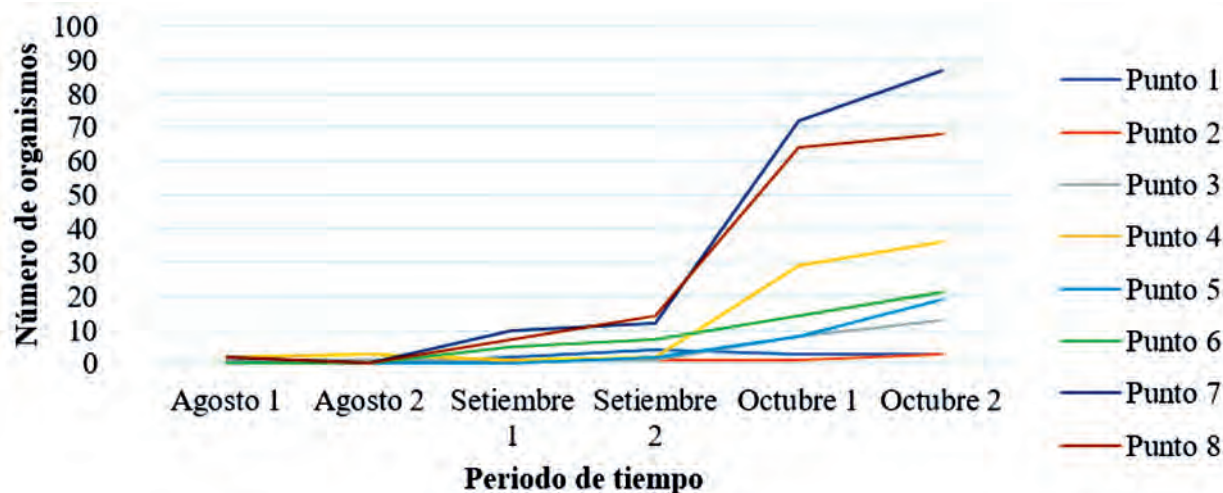


FIGURE 2. Evaluation of the biological parameters of agricultural soils in the interior Bay of Puno, Peru Source Own elaboration.
 FIGURA 2. Evaluación de los parámetros biológicos de los suelos agrícolas en la bahía interior de Puno, Perú Fuente: Elaboración propia.

Due to the growing state of environmental degradation on a global scale, Velasquez & Lavelle (2019), refer that the use of tools such as quality indicators is required to evaluate each situation, forecast trends and implement activities that lead to prevention, correction, mitigation or recovery. The use of macroinvertebrates, due to their low cost, facilitates their use by technicians and farmers with the help of basic manuals and minimal training in the field. In the same way, macroinvertebrate communities present in the soil can be evaluated and a general appreciation of the quality of the soil can be achieved.

According to Siebert *et al.* (2019), earthworms are among the organisms of particular importance, which can modulate the effects of climate change on soil organisms by modifying the biotic and abiotic conditions of the soil. However, their abundance decreases with intensification of management, justifying their use as a key biotic indicator to demonstrate the poverty of the soil due to the intensification of agriculture.

In the region of Puno, there is an urgent need that has required continuous studies of the quality of agricultural soil for years due to the presence of organic and bacteriological pollutants of anthropogenic origin, particularly from organic and mining waste. According to UNEP (1996), the most contaminated area affected by sewage discharges is the interior Bay of Puno, which suffers a moderate eutrophic process resulting of discharges from the city of Juliaca and Lake Uru Uru, due to discharges from the city of Oruro.

Debido al creciente estado de degradación ambiental a escala mundial Velasquez y Lavelle (2019), refieren que se requiere el uso de herramientas tales como indicadores de calidad para evaluar cada situación, pronosticar tendencias e implementar actividades que conduzcan a la prevención, corrección, mitigación o recuperación. El uso de macro invertebrados por su bajo costo facilita su uso por parte de técnicos y agricultores con la ayuda de manuales básicos y una capacitación mínima en el campo, de igual manera se pueden evaluar las comunidades de macroinvertebrados presentes en el suelo y así conseguir una apreciación general de la calidad del suelo.

Según (Siebert *et al.*, 2019), las lombrices de tierra están entre los organismos de particular importancia, que pueden modular los efectos del cambio climático en los organismos del suelo modificando las condiciones bióticas y abióticas del suelo, sin embargo, su abundancia disminuye con la intensificación de la gestión, lo que justifica su uso como indicador biótico clave para demostrar la pobreza del suelo por la intensificación de la agricultura.

En la región de Puno existe una necesidad urgente que desde hace años requiere estudios continuos de la calidad de suelo agrícola debido a la presencia de contaminantes de origen orgánico y bacteriológico de origen antropogénico en particular por residuos orgánicos y mineros; según UNEP (1996), la zona más contaminada afectada por los vertidos del alcantarillado son la bahía interior de Puno que sufre un proceso eutrófico moderado debido a los vertidos de la ciudad de Juliaca y el lago Uru Uru, debido a los vertidos de la ciudad de Oruro.

CONCLUSIONS

- The agricultural soils of the interior Bay of Puno after harvest and before sowing, during the months of August–October in terms of chemical parameters, maintain an optimal condition for the agricultural development of the area.
- Despite the high levels of nitrate and solid waste observed in the study areas, the agricultural soils of the interior Bay of Puno, still maintain the basic conditions for planting and harvesting native products.
- The increase in organisms belonging to the macrofauna during the months of assessment showed that the soils are now being prepared for future planting and allow the organisms to take advantage of the relationship between soil quality and fertility to fulfill their biological cycles.
- This type of research contributes to decision making in efforts to recover degraded or degrading soils and, therefore, to environmental protection.

ACKNOWLEDGEMENTS

We are grateful to the San Carlos Private University, Peru, for the support in the execution of this investigation, to all the people who in one way or another collaborated for the development of this investigation.

CONCLUSIONES

- Los suelos agrícolas de la bahía interior de Puno después de la cosecha y antes de la siembra, durante los meses agosto–octubre en cuanto a los parámetros químicos, mantienen una condición óptima para el desarrollo agrícola de la zona.
- Pese a los altos niveles de nitrato y los desechos sólidos observados en las zonas de estudio los suelos agrícolas de la Bahía interior de Puno aún mantienen las condiciones básicas para la siembra y cosecha de los productos nativos.
- El aumento de organismos pertenecientes a la macrofauna durante los meses de evaluación, demostró que en la actualidad los suelos se preparan para la futura siembra y permiten que los organismos aprovechen la relación entre la calidad y la fertilidad de los suelos para cumplir sus ciclos biológicos.
- Este tipo de investigación contribuyen a la toma de decisiones en los esfuerzos por la recuperación de los suelos degradados o en proceso de degradación y por lo tanto la protección ambiental.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Universidad Privada San Carlos, Perú por el apoyo en la ejecución de la presente investigación, a todas las personas que de una u otra manera colaboraron para el desarrollo de esta investigación.

REFERENCES / REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASKARI, M.S.; O'ROURKE, S.M.; HOLDEN, N.M.: "Evaluation of soil quality for agricultural production using visible–near-infrared spectroscopy", *Geoderma*, 243–244: 80–91, 2015, ISSN: 0016-7061, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.12.012>.
- BAUTISTA, C.A.; ETCHEVERS, B.J.; DEL CASTILLO, R.R.; GUTIÉRREZ, C.: "La calidad del suelo y sus indicadores", *Revista ecosistemas*, 13(2): 90–97, 2004, ISSN: 1697-2473.
- BEDNÁŘ, M.; ŠARAPATKA, B.: "Relationships between physical–geographical factors and soil degradation on agricultural land", *Environmental Research*, 164: 660–668, 2018, ISSN: 0013-9351, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.03.042>.
- BEROVIDES, A.V.; CAÑIZARES, M.M.; GONZÁLEZ, R.A.: *Métodos de Conteo de Animales y Plantas Terrestres. Manual para la capacitación del personal técnico de las Áreas Protegidas de Cuba*, Ed. Centro Nacional de Áreas Protegidas, CITMA, La Habana, Cuba, 11–24 p., 2005.
- BURT, R.: *Soil Survey Staff. Kellogg Soil Survey Laboratory Methods Manual*, Ed. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, R. Burt and Soil Survey Staff ed., vol. Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 5.0., USA, 2014.
- DI RIENZO, J.A.; GONZALEZ, F.; TABLADA, L.A.; DÍAZ, E.M.; DEL PILAR, M.: *Estadística para las ciencias agropecuarias*, Ed. Editorial Bruja, Buenos Aires, Argentina, 2008.
- FAO: *Permeabilidad del suelo; Guías para la determinación de los requerimientos de agua, [en línea]*, Inst. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO, Roma. Italia, 2009, Disponible en: ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6706s/x6706s09.htm.
- FLORES, M.; CORRAL D, B.; SAPIEN, G.: "Nitrogen mineralization of lime-stabilized biosolids in agricultural soils", *Terra Latinoamericana*, 25: 409–417, 2007, ISSN: 0187-5779.
- FRANZLUBBERS, J.A.; HANEY, R.L.: "Assessing soil quality in organic agriculture", *The Organic Center*, (Critical Issue Report.): 1–17, 2006.
- GARCÍA, Y.; RAMÍREZ, W.; SÁNCHEZ, S.: "Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso", *Pastos y Forrajes*, 35(2): 125–138, 2012, ISSN: 0864-0394, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2008.12.004>.
- GIAN, Y.T.: *Centro Poblado Uros Chulluni, Puno, Perú*, 2015.
- GONZÁLEZ, B.J.; GONZÁLEZ, C.G.; SÁNCHEZ, C.C.; LÓPEZ, S.S.; VALENZUELA, N.L.M.: "Caracterización de la porosidad edáfica como indicador de la calidad física del suelo", *Terra Latinoamericana*, 29(4): 369–377, 2011, ISSN: 0187-5779.
- GUTIÉRREZ, L.J.; JONES, G.C.; STRAYER, L.D.; IRIBARNE, O.O.: "Mollusks as ecosystem engineers: the role of shell production in aquatic habitats", *Oikos*, 101(1): 79–90, 2003, ISSN: 0030-1299, DOI: <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2003.12322.x>.
- HUERTA, L.E.; RODRÍGUEZ, O.J.; EVIA, C.C.I.; MONTEJO, M.E.; DE LA CRUZ, M.M.; GARCÍA, H.R.: "Relación entre la fertilidad del suelo y su población de macroinvertebrados", *Terra Latinoamericana*, 26(2): 171–181, 2008, ISSN: 0187-5779, DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-6427.2011.00564.x>.
- LANG, O.F.; PÉREZ, V.A.; MARTÍNEZ, D.J.P.; PLATAS, R.D.E.; OJEDA, E.A.; GONZÁLEZ, A.I.J.: "Macrofauna edáfica asociada a plantaciones de mango y caña de azúcar", *Terra Latinoamericana*, 29(2): 169–177, 2011, ISSN: 0187-5779.

- LAVELLE, P.: "Diversity of soil fauna and ecosystem function", *Biology International*, 33(3.16), 1996, Disponible en: <https://www.colby.edu/biology/BII31/Lab/Lavelle%201996.pdf>.
- LAVELLE, P.; DECAËNS, T.; AUBERT, M.; BAROT, S.; BLOUIN, M.; BUREAU, F.; MARGERIE, P.; MORA, P.; ROSSI, J.-P.: "Soil invertebrates and ecosystem services", *European journal of soil biology*, 42: S3-S15, 2006, ISSN: 1164-5563, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2006.10.002>.
- LEAL, S.D.; VALENZUELA, A.I.; GUTIÉRREZ, M.; BERMÚDEZ, M. del C.; GARCÍA, J.; ALDANA, M.L.; GRAJEDA, P.; SILVEIRA, G.M.I.; MEZA, M.M.M.; PALMA, D.S.: "Residuos de plaguicidas organoclorados en suelos agrícolas", *Terra latinoamericana*, 32(1): 1-11, 2014, ISSN: 0187-5779.
- LI, Y.; CHANG, S.X.; TIAN, L.; ZHANG, Q.: "Conservation agriculture practices increase soil microbial biomass carbon and nitrogen in agricultural soils: A global meta-analysis", *Soil Biology and Biochemistry*, 121: 50-58, 2018, ISSN: 0038-0717, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.02.024>.
- MINAGRI: *La Zonificación Ecológica Económica de los Suelos*, [en línea], 2015, Disponible en: <http://minagri.gob.pe/portal/datero/43-sector-agrario/suelo>.
- MINAM: *Línea base ambiental de la Cuenca del lago Titicaca*, [en línea], Inst. MINAM, Dirección general de Calidad ambiental, Línea Base-Ambiental-del-Lago-Titicaca, Perú, 85 p., 2013, Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/Linea-Base-Ambiental-del-Lago-Titicaca.pdf>.
- MINAM: *Guía para muestreo de suelos*, [en línea], Inst. MINAM, GUIA-MUESTREO-SUELO_MINAM1, Perú, 38 p., 2014, Disponible en: http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/04/GUIA-MUESTREO-SUELO_MINAM1.pdf.
- MUNICIPALIDAD DE PUNO: *Plan de desarrollo provincial concertado al 2021.2008.*, [en línea], Municipalidad de Puno, 2008, Disponible en: http://www.munipuno.gob.pe/descargas/transparencia/Plan%20de%20Desarrollo%20Concertado/PDC_MPP_anterior.pdf.
- MUNSELL COLOUR COMPANY: *Munsell soil color charts*, Munsell color Co. Baltimore, MD), 2000.
- NABIOLLAHI, K.; GOLMOHAMADI, F.; TAGHIZADEH-MEHRJARDI, R.; KERRY, R.; DAVARI, M.: "Assessing the effects of slope gradient and land use change on soil quality degradation through digital mapping of soil quality indices and soil loss rate", *Geoderma*, 318: 16-28, 2018, ISSN: 0016-7061, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.12.024>.
- PAREJA, R.S.R.; LEMUS, A.F.; PISCO, R.R.; GAMBOA, A.Q.J.; ROJAS, L.E.I.: "Los macroinvertebrados como indicadores de la calidad del suelo en cultivos de mora, pasto y aguacate", *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*, 64(1): 5793-5802, 2011, ISSN: 0304-2847.
- PEECH, M.: "Chemical and Microbiological Properties. Hydrogen-Ion Activit", En: *Methods of Soil Analysis*, Ed. Amer. Soc. Agr., C. A. Black ed., vols. Parte 2, Madison, Wisconsin, USA, pp. 914-926, 1965.
- RICHARDS, I a: *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*, ser. US OA Handbook 60, Ed. U.S. Salinity Laboratory, USA, 1954.
- SÁNCHEZ, M.M.; MIRALLES, I.; AGUIRRE, G.J.F.; MILLÁN, V.; ORTEGA, R.; GARCÍA, S.J.A.; MARTÍNEZ, A.F.; SORIANO, M.: "Changes in the soil bacterial community along a pedogenic gradient", *Scientific reports*, 7(1): 1-11, 2017, ISSN: 2045-2322, DOI: 10.1038/s41598-017-15133-x.
- SANDOVAL, M.; DÖRNER, J.; SEGUEL, O.; CUEVAS, J.; RIVERA, D.: *Métodos de análisis físico de suelos*, Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo y financiada por el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) del Ministerio de Agricultura de Chile, 2010.
- SIEBERT, J.; EISENHAEUER, N.; POLL, C.; MARHAN, S.; BONKOWSKI, M.; HINES, J.; KOLLER, R.; RUESS, L.; THAKUR, M.P.: "Earthworms modulate the effects of climate warming on the taxon richness of soil meso-and macrofauna in an agricultural system", *Agriculture, ecosystems & environment*, 278: 72-80, 2019, ISSN: 0167-8809, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.03.004>.
- STÄHLBERG, S.: "A simple turbidimetric method for determination of exchangeable soil potassium", *Science and Plant Analysis*, 10(10): 1345-1353, 1979, DOI: 10.1080/00103627909366988.
- SUN, R.; Z. WANG, Z.; CHEN, L.; W. WANG, W.: "Assessment OF SURFACE WATER QUALITY at Large Watershed Scale: Land-Use, Anthropogenic, and Administrative Impacts", *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 49(4): 741-752, 2013, ISSN: 1093-474X, DOI: 10.1111/jawr.12033.
- UNEP: *Diagnóstico Ambiental del Sistema del Sistema Titicaca-Desaguadero-Poopo-Salar de Coipasa (Sistema TDPS) Bolivia-Perú*, Organización de las Naciones Unidas, UNEP, 1996.
- USDA-NRCS.: *Soil Properties and Qualities*, [en línea], Ed. National Soil Survey Handbook, vol. title 430-VI. Part 618, 2005, Disponible en: <http://soils.usda.gov/technical/handbook/detailedtoc.html#618>.
- VELASQUEZ, E.; LAVELLE, P.: "Soil macrofauna as an indicator for evaluating soil based ecosystem services in agricultural landscapes", *Acta Oecologica*, 100: 103446, 2019, ISSN: 1146-609X, DOI: 10.1016/j.actao.2019.103446.
- VILLAR, M.P.; VILLAR, M.J.: *Guía de la fertilitat dels sòls i la nutrició vegetal en producció integrada*, [en línea], Ed. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació, 2016, Disponible en: <https://n9.cl/cowl>.

Katia Andrade Linarez, Ingeniera Química, Universidad Privada San Carlos, Puno, Perú, e-mail: katiaandradelinarez@gmail.com

Isabel Castillo Coaquira, Magister en Ciencias: Gerencia, Calidad y Seguridad de laboratorios analíticos y acreditación, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú, e-mail: eveling.castilloc@gmail.com

Luis Rossel Bernedo, Magister en Contabilidad y Finanzas. Universidad Privada San Carlos, Puno, Perú, e-mail: alrosber@gmail.com

The authors of this work declare no conflict of interests.

This item is under license Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

The mention of trademarks of specific equipment, instruments or materials is for identification purposes, there being no promotional commitment in relation to them, neither by the authors nor by the publisher.