

Caracterización de los suelos de seis municipios en Norte de Santander

Characterization of soils in six municipalities of Norte de Santander

DOI: <http://doi.org/10.17981/ingecuc.17.1.2021.06>

Artículo de Investigación Científica. Fecha de Recepción: 29/02/2020. Fecha de Aceptación: 15/10/2020.

Leónides Castellanos González 

Universidad de Pamplona. Pamplona (Colombia)
lclcastell@gmail.com

Ana Francisca González-Pedraza 

Universidad de Pamplona. Pamplona (Colombia)
anagonzalez11@gmail.com

Alfonso Eugenio Capacho Mogollón 

Universidad de Pamplona. Pamplona (Colombia)
aecapacho@unipamplona.edu.co

Para citar este artículo:

L. Castellanos González, A. González-Pedraza & A. Capacho Mogollón, “Caracterización de los suelos de seis municipios en Norte de Santander”, *INGE CUC*, vol. 17 no. 1, pp. 69–81. DOI: <http://doi.org/10.17981/ingecuc.17.1.2021.06>

Resumen

Introducción— El principal eje de desarrollo económico en el departamento Norte de Santander (Colombia) es el sector agropecuario. Sin embargo, no existe un plan de ordenamiento productivo que permitan la planificación y promoción eficiente de uso del suelo.

Objetivo— Determinar las características taxonómicas, agroquímicas y físicas de los suelos en seis municipios del departamento Norte de Santander.

Metodología— El estudio se realizó en 90 fincas de los municipios: Arboledas, Convención, Esperanza, La Playa, Mutiscua y Ocaña. Se seleccionaron 15 fincas por municipio. Se tomaron muestras de suelos compuestas de 0 cm a 30 cm (2 ha/finca) y se les determinó textura y macro y micronutrientes. Se realizó un análisis estadístico descriptivo para todas las variables de suelo analizadas. Se empleó el método de muestras no pareadas por la prueba de t de Student con una probabilidad de error del 5%. Se utilizó el paquete estadístico SPSS versión 21.

Resultados— Taxonómicamente los suelos pertenecen a los órdenes Inceptisol y Entisol. Las clases texturales predominantes fueron franco, franco arcillo limoso y franco arenoso. La concentración de macro y micronutrientes fue baja con excepción del hierro y el manganeso y los coeficientes de variación estuvieron por encima del 50% para la mayoría de los elementos analizados.

Conclusiones— Predominaron los suelos Inceptisoles con subórdenes Dystrudepts, Eutrudepts Humudepts y Dystrustepts y Entisol con subórdenes Udorthents y Ustorthents, con texturas franco arenoso, franco limosa, franca y franco arcillo limosa. Estos presentaron una alta variabilidad en las concentraciones de macro y micronutrientes y en general baja fertilidad natural.

Palabras clave— Taxonomía de suelo; propiedades físico químicas, niveles nutricionales; fertilidad natural

Abstract

Introduction— The main axis of economic development in the North Department of Santander (Colombia) is the agricultural sector. However, there is no productive management plan that allows the planning and efficient promotion of land use.

Objective— To determine the taxonomic, agrochemical and physical characteristics of the soils in six municipalities of Norte de Santander department.

Methodology— The study was carried out on 90 farms in Arboledas, Convention, Esperanza, La Playa, Mutiscua and Ocaña municipalities. Samples of soils composed of 0 cm to 30 cm (2 ha/farm) were taken and texture and macro and micronutrients were determined. A descriptive statistical analysis was performed for all soil variables analyzed. The method of samples not paired by the Student t test was used with a probability of error of 5%. The statistical package SPSS version 21 was used.

Results— Taxonomically the soils belong to the orders Inceptisol and Entisol. The predominant textural classes were loam, silty clay loam and sandy loam. Macro and micronutrients concentration was low with the exception of iron and manganese and the coefficients of variation were above 50% for most of the elements analyzed.

Conclusions— The predominated soils were Inceptisols with Dystrudepts, Eutrudepts Humudepts and Dystrustepts suborders, and Entisol with Udorthents and Ustorthents suborders, with sandy loam, silty loam, loam and silty clay loam textures. These presented a high variability in the concentrations of macro and micronutrients and in general low natural fertility.

Keywords— Soil taxonomy; physical chemical properties, nutritional levels; natural fertility

I. INTRODUCCIÓN

El principal eje de desarrollo económico en el departamento Norte de Santander (Colombia) es el sector agropecuario, el cual corresponde a cultivos permanentes y de ciclo corto; teniendo un uso de área aproximada de 101.648 hectáreas para los cultivos permanentes y 42.513 hectáreas para los transitorios y anuales [1]. A pesar de ello, el departamento carece de un plan de ordenamiento productivo como herramienta para la formulación y ejecución de políticas públicas agropecuarias que permitan la planificación y promoción eficiente de uso del suelo para un desarrollo rural agropecuario con enfoque territorial. En otras palabras, se sigue sembrando, siguiendo la intuición, y no con precisión, en función de las oportunidades del mercado y las necesidades de alimentos.

Por lo tanto, es necesario el diseño de modelos de producción que estén acordes con las necesidades de la región y a su vez aseguren un manejo agropecuario sostenible. En este sentido, surgen los modelos agroecológicos cuyo fin es mejorar la sustentabilidad económica y ecológica de los agroecosistemas y proveer una estructura operacional acorde con las condiciones ambientales y socioeconómicas existentes [2].

Adicionalmente, en una estrategia agroecológica los componentes de manejo están dirigidos a resaltar la conservación y mejoramiento de los recursos locales (germoplasma, suelo, fauna benéfica, diversidad vegetal, etc.), enfatizando el desarrollo de una metodología que valore la participación de los agricultores, el uso del conocimiento tradicional y la adaptación de las explotaciones agrícolas a las necesidades locales y las condiciones socioeconómicas y biofísicas [3].

Las características de los suelos definen el tipo de cultivo que se puede implementar en determinada zona, aunado a las condiciones agroclimatológicas. De igual manera, pueden ejercer una influencia muy importante en el establecimiento y la productividad de los cultivos [4].

En Colombia se construyó la política para la gestión del suelo con la participación de actores nacionales, regionales y locales, con la cual se busca promover la gestión sostenible del suelo, en un contexto integral en el que confluyan la conservación de la biodiversidad, el agua y el aire, el ordenamiento del territorio y la gestión de riesgo, contribuyendo al desarrollo sostenible y al bienestar de los colombianos.

Por otra parte, se definieron los cultivos promisorios para los diferentes departamentos del país, incluido Norte de Santander [5]. Adicionalmente se probó el proyecto Plantar “Desarrollo estratégico agroecológico con uso de TICs para el fortalecimiento de cultivos promisorios en el departamento de Norte de Santander”, que se ha denominado, en seis municipios de este Departamento y que se propone el establecimiento de 18 modelos agroecológicos [2].

Es por ello que en esta investigación se planteó como objetivo evaluar las características taxonómicas, agroquímicas y físicas de los suelos en seis municipios del departamento de Norte de Santander con el fin de conocer sus potencialidades y limitaciones para establecer modelos de producción agroecológica con cultivos promisorios para el Departamento.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

El enfoque de los modelos agroecológicos es mejorar la sustentabilidad económica y ecológica de los agroecosistemas, con un sistema de manejo propuesto a tono con la base local de recursos y con una estructura operacional acorde con las condiciones ambientales y socioeconómicas existentes. En una estrategia agroecológica los componentes de manejo son dirigidos a resaltar la conservación y mejoramiento de los recursos locales (germoplasma, suelo, fauna benéfica, diversidad vegetal, etc.), enfatizando el desarrollo de una metodología que valore la participación de los agricultores, el uso del conocimiento tradicional y la adaptación de las explotaciones agrícolas a las necesidades locales y las condiciones socioeconómicas y biofísicas [2].

Por otro lado, los cultivos promisorios son todas aquellas especies y variedades subutilizadas incluidas las que se encuentran más o menos amenazadas de extinción debido a la expansión de las variedades mejoradas, que pueden representar un potencial de aprovechamiento agroindustrial y económico pero que no han tenido un desarrollo comercial a gran escala [2], [7].

A este respecto, algunos autores señalan que los cultivos promisorios deben ser importantes para la producción y el consumo local además de formar parte de la cultura y tradiciones culinarias locales [6]. Deben contar con amplia adaptabilidad a los nichos agroecológicos y a

las áreas marginales. En este punto poseen ventajas sobre los cultivos comerciales porque han sido seleccionadas para soportar condiciones estresantes y pueden cultivarse con bajos insumos y técnicas biológicas. Y por último, se manejan y utilizan de acuerdo con la cultura campesina local. Su cultivo y uso puede ser incrementado utilizando el conocimiento de los agricultores e introduciendo prácticas de cultivo innovadoras.

Adicionalmente, existen factores que se deben de tomar en cuenta para la implementación de estos modelos de producción agroecológica como lo son: tipo de suelo, clima, época de cultivos, adecuación de plantas, factores edáficos, sociales y económicos entre otros, necesarios en la planeación e implementación de estos sistemas en los campos agrícolas, ya que una mala planeación y estructuración de los sistemas pueden causar el deterioro de los suelos y repercutir en los rendimientos de los cultivos situación que representa un riesgo en la inversión del productor. Las características de los suelos definen el tipo de cultivo que se puede implementar en determinada zona, aunado a las condiciones agroclimatológicas. De igual manera, pueden ejercer una influencia muy importante en el establecimiento y la productividad de los cultivos [8].

Es por ello que en esta investigación se planteó como objetivo determinar las características taxonómicas, agroquímicas y físicas de los suelos en seis municipios del departamento Norte de Santander

III. METODOLOGÍA

A. Descripción del área de estudio

El estudio se llevó a cabo en seis municipios del departamento Norte de Santander (Colombia): Arboledas, Convención, Esperanza, La Playa, Mutiscua y Ocaña. Dentro de cada municipio se seleccionaron 15 fincas para un total de 90 unidades de producción. En cada municipio se establecieron tres modelos agroecológicos con 5 repeticiones (fincas). En cada finca se delimitaron dos hectáreas de terreno, una hectárea sería utilizada para la parcela agroecológica y la otra para la parcela testigo (Fig. 1).

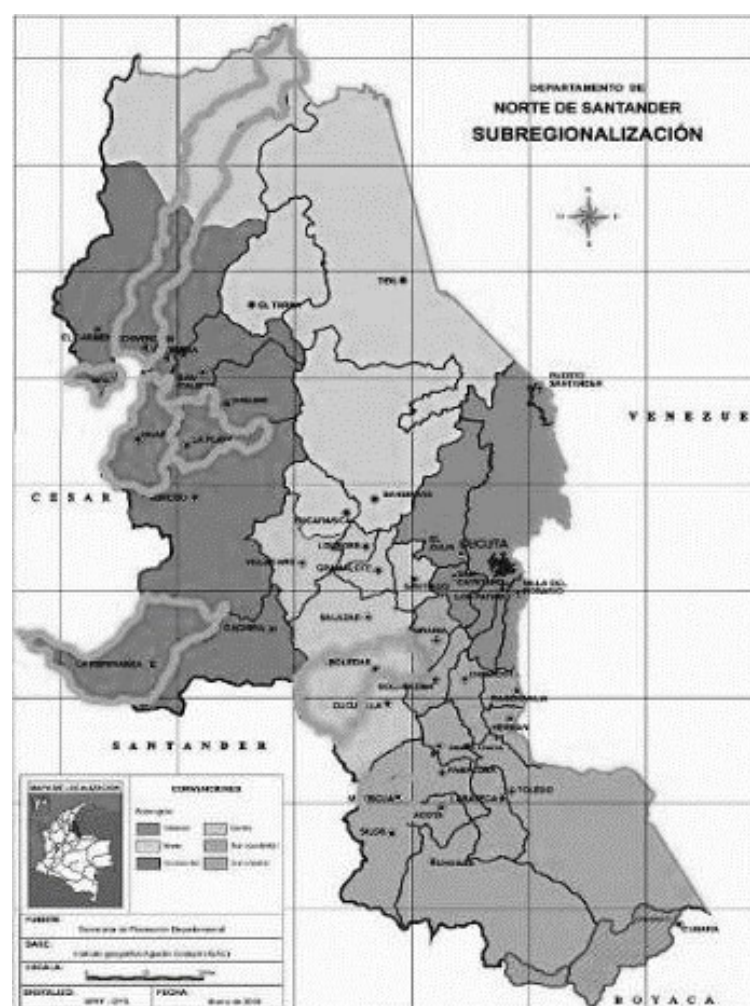


Fig. 1. Localización del proyecto en el departamento de Norte de Santander.
Fuente: [5].

Para la selección de las familias participantes del proyecto de investigación, se utilizó la información del último censo realizado por el DANE en el 2015 utilizando la totalidad de la población agrícola objeto de estudio en el departamento de Norte de Santander [9]. Con base

en la información proporcionada por Gobernación del departamento de Norte de Santander a través de la Secretaria de Desarrollo Económico, se identificaron y seleccionaron las familias participantes teniendo en cuenta criterios tales como:

- Vocación agrícola.
- Superficie mínima de tres hectáreas de tierra.
- Estar de acuerdo en designar por lo menos dos hectáreas para el desarrollo del proyecto.
- Estar tipificado como pequeño productor agrícola según el Decreto 780 de 2011 del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [10].
- Tener interés y compromiso en participar en el desarrollo del proyecto.
- Ninguno de los posibles candidatos puede haber participado en proyectos de índole similar.
- Saber leer y escribir.

De forma matemática, se seleccionó una muestra como unidad de análisis para delimitar la población, generalizar resultados y establecer parámetros [11]. La muestra poblacional estuvo conformada por 15 familias (con cuatro personas por familia y aproximadamente 60 personas en total). Se realizó el cálculo por medio de la fórmula matemática de muestreo aleatorio (1).

$$n = z^2(p*q)/(e^2 + (z^2(p*q))/N) \quad (1)$$

Donde:

Z = Grado de confianza. Para esta investigación, se aplicó una confiabilidad del 95% el cual es el valor de Z siendo este equivalente a 1,96, para que la información sea viable y confiable.

e = Margen de error. Para este proyecto el margen utilizado es del 0.1%.

N = Tamaño de la población, total de fincas que integran el proyecto en el municipio.

p = probabilidad de éxito es de 50%, es decir, 0.5%.

q = probabilidad de fracaso es de 50%, es decir, 0.5%.

B. Caracterización taxonómica y agroquímica de los suelos

1) Descripción taxonómica de los suelos

La caracterización edafológica en los seis municipios se hizo con el fin de conocer las propiedades y el patrón de distribución de los diferentes suelos delimitados, a fin de definir la aptitud de uso en función de las potencialidades y limitaciones encontradas en cada una de las unidades taxonómicas, constituyéndose esto en la herramienta básica de trabajo para la selección los cultivos promisorios y la transformación de los sistemas de producción convencionales actuales a sistemas agroecológicos.

Inicialmente se determinaron las características generales de los suelos de los municipios, haciendo una revisión del "Estudio General de Suelos del Departamento de Norte de Santander" [12]. A partir de allí, se ubicaron las unidades de suelos en las diferentes fincas y se procedió a la caracterización geomorfológica y edafológica preliminar. Para tal fin, se tomó como punto de partida la identificación del paisaje, con base en su morfología específica, a la cual se le adicionan como atributos el material parental y la pendiente.

La descripción de los perfiles se realizó a partir de la toma de datos en campo, de acuerdo con el levantamiento topográfico hecho en la zona, que permitió establecer las características diferenciadas del suelo, de acuerdo con la sedimentación presente en la zona. Este análisis estuvo determinado por las condiciones topográficas (sierra, colina, llanura, etc.) de cada zona de estudio. La caracterización taxonómica de los suelos se llevó a cabo en dieciocho de las 90 fincas seleccionadas en el departamento. Para ello se separaron las fincas por modelo agroecológico, los cuales fueron establecidos cada uno por consenso de los productores, tal como fue descrito anteriormente, en cada uno de los municipios del departamento Norte de Santander.

Una vez identificados y descritos todos los paisajes, se seleccionaron seis calicatas (con excepción de los municipios Convención y La Esperanza donde fueron descritos siete perfiles de suelos) en los sitios más representativos dentro de cada municipio. Se realizó la descripción morfológica de los diferentes suelos observando de forma muy completa las características internas y externas de cada uno de los horizontes que conforman el perfil modal siguiendo la metodología utilizada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi [13].

La clasificación taxonómica de los suelos se realizó hasta la categoría de familia siguiendo la metodología empleada por el departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) y la subdirección Agrológica del Instituto Geográfico Agustín Codazzi [13], [14].

2) Caracterización de los suelos

Con el fin de analizar el nivel de fertilidad de los suelos de las 90 fincas seleccionadas en los seis municipios, se procedió a la toma de muestras antes de establecer las parcelas de los cultivos testigos o control y los cultivos con enfoque agroecológico (establecimiento de los modelos). Para ello, se realizó un muestreo en 30 ha/municipio (2 ha/finca). Se tomó una muestra de suelos compuesta de 15 a 20 submuestras a una profundidad de 0 cm a 30 cm en cada parcela y se determinaron las variables químicas y físicas descritas en la [Tabla 1](#).

TABLA 1. VARIABLES QUÍMICAS ANALIZADAS Y METODOLOGÍA DE EXTRACCIÓN Y DETERMINACIÓN

Variable	Método	Fuente
pH	Potenciométrico en H ₂ O, KCl y NaF,	[15]
Conductividad eléctrica	Potenciométrico en H ₂ O	[15]
Acidez intercambiable	Extracción con KCl 1 N	[16]
Carbono orgánico (CO, %)	Digestión húmeda de Walkley Black %p/v	[17]
Fósforo (ppm)	Bray II	[18]
Azufre (meq/100 cc)	Extracción con Ca(HPO ₄)	[19]
Bases intercambiables (Ca, Mg, K, Na) (meq/100 cc)	Extracción con acetato de amonio 1M pH 7 y determinación por espectrofotometría de absorción atómica	[16]
CICE (Capacidad de Intercambio Cationico Equivalente) (meq/100 cc)	Suma de cationes	[16]
Elementos menores (Fe, Cu, Mn, Zn) (meq/100 cc)	Olsen modificado	[20]
Boro (B)	Azometina H	[21]
Nitrógeno disponible (N-amonio y N-nitrato)	Colorimétrico	[22]
Textura	Bouyucos	[23]

Fuente: Autores [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22].

En cada parcela seleccionada por finca se determinó el porcentaje de arcilla, limo y arena y se estableció la clasificación de la textura por el triángulo textural de USDA, asumido también por la FAO [23].

C. Análisis estadístico

Se realizó un análisis estadístico descriptivo para todas las variables agroquímicas (macroelementos y microelementos) y físicas determinadas. Se utilizó el paquete estadístico SPSS versión 21 [24].

IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A. Caracterización taxonómica del suelo

De manera global, los suelos de los seis municipios se clasificaron en dos órdenes, Inceptisol y Entisol. Dentro de los Inceptisoles se encuentran los subórdenes Dystrudepts, Eutrudepts Humudepts y Dystrustepts. Del orden Entisol se encontraron los subórdenes Udorthents y Ustorthents. De acuerdo con la descripción taxonómica realizada, 22 de los 38 perfiles descritos fueron categorizados a nivel de subgrupo como Typic Dystrudepts ([Tabla 2](#)).

TABLA 2. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LOS SUELOS

Perfil	Clasificación taxonómica de los suelos					
	Municipios					
	Arboledas	Convención	Esperanza	La Playa	Mutiscua	Ocaña
1	Typic Dystrudepts Muy fino	Typic Dystrudepts Fragmental	Typic Dystrudepts Fragmental	Typic Dystrudepts Fino sobre franco fino	Typic Dystrudepts Franco fino	Typic Dystrudepts Franco fino
2	Typic Humudepts Media	Typic Dystrudepts Fino	Typic Dystrudepts Fino sobre fragmental	Typic Dystrudepts Franco fino	Andic Eutrudepts Fino	Typic Ustorthents Franco fino
3	Typic Humudepts Esquelética	Typic Dystrudepts Fragmental	Typic Dystrudepts Fino	Fluventic Dystrustepts Fino	Typic Dystrudepts Fino	Typic Dystrudepts Muy Fino
4	Typic Dystrudepts Franco fino	Typic Dystrudepts Muy fino	Typic Dystrudepts Fragmental sobre fino	Fluventic Ustorthents Franco grueso sobre franco fino	Typic Dystrudepts Fino	Typic Dystrustepts Fragmental
5	Typic Dystrudepts Muy fino	Typic Dystrudepts Fino	Typic Dystrudepts Fino	Typic Dystrustepts Franco fino sobre fragmental	Typic Dystrudepts Franco fino	Typic Dystrustepts Fino
6	Typic Dystrudepts Muy fino	Typic Dystrudepts Franco fino	Typic Udorthents Fragmental	Typic Dystrustepts Fragmental	Dystrudepts Fragmental	Typic Dystrudepts Fino sobre fragmental
7	-	Typic Dystrudepts Fino	-	Typic Dystrustepts Fino	-	-

Fuente: Autores.

En el municipio Arboledas, cuatro de los suelos fueron clasificados como Typic Dystrudepts con clases texturales franco fina y muy fina, mientras que los otros dos perfiles fueron descritos como Typic Humudepts con texturas medias y esqueléticas. En el municipio Convención, los seis perfiles analizados resultaron Typic Dystrudepts con algunas variaciones en la clase textural desde fragmental, fino, muy fino y franco fino.

En el municipio La Esperanza cinco de los seis perfiles fueron categorizados como Typic Dystrudepts con clases texturales fina, fina sobre fragmental y fragmental sobre fina y un suelo fue descrito como Typic Udorthents fragmental. En La Playa dos suelos se clasificaron como Typic Dystrudepts fino sobre franco fino y franco fino, respectivamente. Otros dos perfiles fueron identificados como Fluventic Dystrustepts fino y Fluventic Ustorthents francoso grueso sobre francoso fino, mientras que los otros tres suelos corresponden a Typic Dystrustepts francoso fino sobre fragmental, fragmental y fino, respectivamente [14].

En Mutiscua se presentó un suelo como Andic Eutrudepts fino y el resto Typic Dystrudepts con variantes texturales entre finas y muy finas. Por último, en el municipio Ocaña tres de los suelos fueron clasificados como Typic Dystrudepts franco fino, muy fino y fino sobre fragmental respectivamente. Otros dos perfiles como Typic Dystrustepts fragmental y fino y un último perfil como Typic Ustorthents franco fino.

En el municipio Convención se identificó un solo ambiente denudacional; destacándose principalmente el paisaje de montaña, donde sobresale el tipo de relieve de filas y vigas, allí los factores formadores de los suelos son clima, material parental y pendiente, los cuales se constituyen en los parámetros sobre los cuales se establece la relación paisaje-suelo, dando como resultado suelos con presencia o no de fragmentos de roca superficial y/o en profundidad, fertilidad natural baja y grupos texturales finos y en algunos casos susceptibilidad a los Fenómenos de Remoción en Masa (FREM).

Estos resultados son consistentes con los presentados por el IGAC en el estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento Norte de Santander [12] donde los procesos denudacionales frecuentes en zonas montañosas impiden que los suelos alcancen un mayor grado de desarrollo dando como resultado suelos relativamente jóvenes tales como los Entisoles e Inceptisoles.

Los Inceptisoles son suelos bastante jóvenes todavía en evolución con un grado de desarrollo incipiente. Suelen estar presentes en ecosistemas forestales, terrenos agrícolas y praderas, siendo las zonas forestales donde se encuentran con mayor frecuencia. De igual forma, es común encontrarlos en zonas montañosas con pendientes abruptas tal como ocurre en la mayoría de las zonas de cada uno de los municipios en donde fueron descritos los perfiles, esto debido a que la erosión del suelo continuamente elimina la parte superficial del terreno [12], [14].

Tanto en el municipio Ocaña como en La Playa se reconocieron dos zonas climáticas bien diferenciadas: una humedad y otra seca identificadas con régimen de humedad del suelo údico y ústico.

Un régimen de humedad údico se encuentran comúnmente en climas húmedos con buena distribución de la precipitación buena disponibilidad de agua para las plantas la mayor parte del año. En estos casos, pueden existir pérdidas importantes de calcio, magnesio, potasio, entre otros elementos con tendencia a ser ácidos e infértiles [14].

Los Entisoles por su parte, son suelos de reciente formación que se desarrollan en áreas donde la tasa de deposición o erosión son más rápidas que la tasa de desarrollo del suelo, con frecuencia predominan las fracciones gruesas y un desarrollo estructural incipiente [14].

Desde el punto de vista productivo, en un régimen de humedad ústico se puede obtener un cultivo de ciclo corto y a salidas de agua se siembra otro cultivo menos exigente en agua el cual se cosecha en el período seco. En cultivos de plantación es necesario regar durante más o menos 6 meses [14].

B. Caracterización física de los suelos. Textura

La textura del suelo en cada una de las parcelas fue muy variable, constituyendo un mosaico con nueve clases texturales en general. Se destacan La Playa y Ocaña con 8 tipos de texturas de suelo y presentaron menos variabilidad Arboledas, Convención y Mutiscua con cinco tipos de texturas. En Arboledas el 26.6% de los suelos de las 15 fincas presentó texturas franco limosa, otro 30% de los suelos presentó textura franco arenosa. El 40% de suelos en el municipio Convención son francos, mientras que otro 26,6% son franco arcillo limosos. Los municipios Arboledas, La Esperanza, La Playa y Ocaña presentaron un alto porcentaje de sus suelos con textura franco arenosa (43.3%, 40% y 33.3% respectivamente), mientras que el 56.6% de los suelos de Mutiscua resultaron franco arcillosos (Tabla 3).

TABLA 3. CLASIFICACIÓN TEXTURAL DE LOS SUELOS DE LAS DIFERENTES POR MUNICIPIOS

Clase textural	Porcentaje de distribución de las clases texturales de los suelos por municipio					
	Arboledas	Convención	La Esperanza	La Playa	Mutiscua	Ocaña
Franco arcillosa		3.3	3.3	13.3		13.3
Franco limosa	26.6		6.6	6.6	56.6	13.3
Limosa	13.3		16.6		6.6	
Franco - Arcillo - Limosa	13.3	26.6	6.6	13.3	10.0	6.6
Franco - Arenosa	30.00	6.6	43.3	40.0	13.3	33.3
Franco - Arcillo - Arenosa			6.6	10.0		10.0
Arcillo - Limosa		23.3		6.6		13.3
Arcillosa				6.6		3.3
Franca	16.6	40.0	16.6	3.3	16.6	6.6

Fuente: Autores.

De acuerdo con estudios de suelos previos en el departamento [12], debido a la gran variabilidad de materiales parentales, las texturas también varían entre familias muy finas y gruesas. En el paisaje de montaña en diferentes climas los suelos han evolucionado a partir de lutitas y arcillolitas caracterizadas por texturas finas y muy finas. Bajo ese mismo paisaje también es posible encontrar suelos originados a partir de materiales ígneos (granitos) y metamórficos (gneiss) y areniscas dando origen a clases texturales predominantemente franca, franco arenosa y arenosa, mientras que cuando se trata de rocas metamórficas (esquitos y gneiss) las clases texturales encontradas corresponden a las franco arcillosas y franco arcillo arenosas [12].

La textura ejerce una importante influencia sobre otras propiedades del suelo, como el contenido de humedad, la densidad aparente y la disponibilidad de nutrientes para las plantas. También influye en los procesos de mineralización y humificación de la materia orgánica del suelo.

La textura es difícilmente alterada debido al cambio de uso de la tierra, excepto en los casos donde ocurra una fuerte erosión y se pierda la capa superior del suelo.

La interacción entre textura y humedad del suelo, y su efecto sobre el desarrollo radical no pueden ser pasadas por alto. Las raíces de las plantas penetran más fácilmente un suelo arenoso húmedo que un suelo arcilloso bajo la misma condición de humedad.

Los suelos de clases textural franca presentan una tendencia uniforme para la retención del agua y la circulación del aire, por lo tanto, los cultivos en este tipo de suelos no se verían afectados o limitados en su crecimiento [12].

C. Niveles de nutrientes en los suelos

Al analizar los resultados sobre la concentración de macroelementos y microelementos en los suelos se pudo evidenciar que más del 90% de las parcelas de Arboledas y Convención tienen niveles deficientes de fósforo (P). También se encontraron bajos niveles de N-NO en los suelos de Arboledas (87.6%), Convención (100%), Esperanza (96.7%) y La Playa (70%). De igual forma, el azufre se encuentra deficiente en el 93.3% de las parcelas de Arboledas, en el 100% de Convención, y en el 100% de Mutiscua. Entre los resultados merece prestar atención que el 80% de los suelos presentaron bajos niveles de carbono. En más del 90% de las parcelas en Convención, Esperanza, La Playa y Ocaña se encontraron niveles bajos y deficientes (Tabla 4).

TABLA 4. PORCENTAJE DE LAS PARCELAS CON VALORES DE NUTRIENTES CATALOGADOS DE DEFICIENTE Y BAJO POR MUNICIPIOS Y DE FORMA GENERAL EN EL PROYECTO.

Municipio	Nivel en el suelo	K	Ca	Mg	Na	Al	P	N-NH	N-NO	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B	CO
		(meq/100 cc)						ppm								
Arboledas	Deficiente	40.0	43.3	60.0	73.3	0.0	90.0	66.7	86.7	93.3	23.3	53.3	40.0	23.3	100.0	0
	Bajo	46.7	26.7	30.0	26.7	23.3	3.3	30.0	13.3	6.7	50.0	10.0	60.0	20.0	0.0	63.33
Convención	Deficiente	46.7	40.0	50.0	83.3	0.0	96.7	0.0	100.0	100.0	36.7	40.0	23.3	60.0	96.7	0
	Bajo	36.7	33.3	16.7	13.3	20.0	0.0	40.0	0.0	0.0	50.0	3.3	70.0	20.0	3.3	93.33
Esperanza	Deficiente	53.3	10.0	40.0	60.0	0.0	90.0	3.3	96.7	100.0	16.7	10.0	10.0	76.7	93.3	0
	Bajo	43.3	30.0	20.0	40.0	46.7	6.7	23.3	3.3	0.0	63.3	13.3	80.0	16.7	6.7	96.67
La Playa	Deficiente	26.7	36.7	46.7	30.0	0.0	53.3	23.3	70.0	60.0	33.3	33.3	33.3	43.3	83.3	6.667
	Bajo	46.7	40.0	30.0	36.7	46.7	6.7	23.3	10.0	23.3	43.3	10.0	36.7	3.3	16.7	90
Mutiscua	Deficiente	13.3	6.7	33.3	90.0	0.0	26.7	0.0	60.0	100.0	0.0	33.3	30.0	60.0	70.0	0
	Bajo	36.7	30.0	60.0	6.7	43.3	20.0	20.0	30.0	0.0	13.3	16.7	56.7	20.0	23.3	23.33
Ocaña	Deficiente	16.7	20.0	36.7	66.7	0.0	66.7	30.0	83.3	83.3	60.0	26.7	40.0	43.3	83.3	0
	Bajo	53.3	23.3	13.3	6.7	53.3	6.7	33.3	6.7	6.7	30.0	16.7	56.7	13.3	13.3	93.33
General	Deficiente	32.8	26.1	44.4	67.2	0.0	70.6	20.6	82.8	89.4	28.3	32.8	29.4	51.1	87.8	1.11
	Bajo	45.6	31.1	29.4	21.7	40.6	7.2	29.4	11.1	6.1	43.3	11.7	61.1	16.7	11.7	79.44

K: potasio; Ca: calcio; Mg: magnesio; Na: sodio; Al: aluminio; P: fósforo; N-NH: nitrógeno disponible como amonio; N-NO: nitrógeno disponible como nitrato; S: azufre; Fe: hierro; Mn: manganeso; Cu: cobre; Zn: zinc; B: boro; CO: carbono orgánico.

Fuente: Autores.

Dentro de los microelementos, el boro, el cual juega un papel importante en el cuaje de los frutos de muchos cultivos, se encuentra deficiente en el 100% de las parcelas de Arboledas, y en general está deficiente en un 87.8 % del total de los suelos en los seis municipios.

A nivel global el azufre presentó deficiencias en el 89.4%, el N-NO en un 82.8% y el fósforo en un 70% de los suelos en los seis municipios. Estos aspectos deben ser tenidos en cuenta en los planes de fertilización, de abonos y de enmiendas y sin duda, tendrán una repercusión en el desarrollo de los cultivos y en la validación de los modelos agroecológicos que se piensan implementar.

El aluminio por su parte, se encontró con valores catalogados como medio y alto en el 60% de las parcelas. Es importante destacar que un exceso de aluminio puede ser tóxico para los cultivos de forma general. En estudios previos [12] se ha encontrado que el aluminio de cambio está presente desde niveles bajos hasta niveles muy altos en la mayoría de los suelos del departamento.

D. Valores medios de los macro y micronutrientes en los suelos

Altos coeficientes de variación fueron encontrados en la mayoría de los macroelementos del suelo analizados en las 15 fincas de cada municipio. Ello debido a las oscilaciones de los valores máximos y mínimos para cada una de los elementos. En la mayoría de los elementos el coeficiente de variación estuvo por encima de 50% en casi todos los municipios. La concentración media de macroelementos, así como la CIC en la mayoría de los suelos es baja (Tabla 5).

TABLA 5. RESULTADO DEL ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LOS MACROELEMENTOS

Municipio	Estadísticos Descriptivos	N-NH	N-NO	P	S	Mg	K	Ca	CIC
		ppm				meq/100 cc			
Arboledas	Media	5.8	22.33	6.4	3.6	1.023	0.26	4.64	17.2
	Mínimo	2	5	1	1	0.17	0.05	0.31	7
	Máximo	12	80	79	17	5.24	1.31	21.14	28
	DE	2.73	22.88	15.10	4.38	1.07	0.25	5.42	6.44
	CV (%)	47.14	102.47	235.9	121.76	104.5	98.62	116.9	37.3
Convención	Media	14.53	8.33	3.8	1.57	1.41	0.23	3.66	19.03
	Mínimo	7	5	1	1	0.15	0.06	0.26	12
	Máximo	33	20	63	4	4.03	0.95	14.23	28
	DE	6.06	4.61	11.28	0.68	1.27	0.23	3.79	5.16
	CV (%)	41.67	55.34	296.80	43.33	90.07	102.25	103.47	27.09
Esperanza	Media	16.47	14.87	6.03	2.57	3.33	0.17	8.12	12.93
	Mínimo	3	5	1	1	0.35	0.05	1.1	6
	Máximo	33	40	59	13	14.14	0.71	19.37	23
	DE	7.21	10.35	10.80	2.47	3.96	0.11	5.68	4.19
	CV (%)	43.78	69.61	179.02	96.35	118.97	66.68	69.91	32.42
La Playa	Media	12.83	48.67	29.13	18.47	1.51	0.40	3.57	16.30
	Mínimo	2	5	1	1	0.14	0.07	0.24	7
	Máximo	31	300	128	119	6.85	1.34	8.76	32
	DE	7.66	71.35	36.69	24.45	1.61	0.31	2.68	7.03
	CV (%)	59.66	146.62	125.93	132.41	106.31	78.31	75.24	43.15
Mutiscua	Media	21.26	53.65	63.50	30.75	23.61	16.79	21.34	18.35
	Mínimo	2	4.61	1	0.68	0.14	0.05	0.24	4.193
	Máximo	59.66	300	296.80	132.41	118.97	102.25	103.47	43.15
	DE	18.04	72.75	79.78	42.69	38.92	28.82	30.43	13.15
	CV (%)	84.85	135.61	125.64	138.80	164.87	171.65	142.60	71.64
Ocaña	Media	26.83	85.21	76.22	50.40	40.25	31.18	32.85	22.30
	Mínimo	2	4.61	1	0.68	0.14	0.05	0.24	4.19
	Máximo	84.85	300	296.80	138.80	164.87	171.65	142.60	71.64
	DE	24.84	93.21	80.14	53.53	52.69	43.75	41.34	19.27
	CV (%)	92.58	109.40	105.14	106.21	130.91	140.29	125.85	86.40

DE: desviación estándar, CV: coeficiente de variación; N-NH: nitrógeno disponible como amonio; N-NO: nitrógeno disponible como nitrato; P: fósforo; S: azufre; Mg: magnesio; K: potasio; Ca: calcio; CIC: capacidad de intercambio catiónico.

Fuente: Autores.

Estos resultados coinciden con los reportados en un estudio previo del IGAC [12] en los que se encontró que más del 90% de los suelos del departamento presentaron deficiencia de fósforo y más del 80% de los suelos presentaron baja CIC efectiva, especialmente los ubicados en el paisaje de montaña. La baja concentración de fósforo fue atribuida a la baja riqueza de fósforo en el material de origen y probablemente a la formación de compuestos insolubles con el hierro y el aluminio, mientras que los valores de CIC han sido relacionados al tipo de materia

parental y el pH de los suelos. En relación con el calcio, el magnesio el sodio y el potasio los valores obtenidos son relativamente similares a otros estudios [12].

Para el caso del nitrógeno disponible, la concentración de nitrato fue mayor que la de amonio, lo cual evidencia que el proceso predominante es la nitrificación. Este aspecto es particularmente importante porque en condiciones favorables para el crecimiento de las plantas, la mayor parte del amonio en el suelo se convierte en nitrato, siendo este último inmediatamente disponible para uso de las plantas y microorganismos del suelo. Pero se debe tener cuidado con el manejo dado a los cultivos, dada la tendencia del nitrato de perderse por lixiviación, debido a su alta movilidad en el suelo, o por volatilización a través de proceso de denitrificación, es decir, se reduce a formas gaseosas como el óxido nitroso (N_{2O}) o nitrógeno elemental (N_2) [25], [26].

Al analizar los microelementos se encontró coeficientes de variación superiores al 50% para todos los microelementos evaluados en los municipios de Mutiscua y Ocaña, para el Zn, Na, Al, Fe; Mn Cu y Cl en Convención y la Playa, para Zn, Na, Al, Fe y Mn en Arboledas y para el Zn, Al y Mn en Esperanza (Tabla 6). Un coeficiente de variación de hasta 10% es aceptable, mientras que se considera con problemas cuando sobrepasan el 50%.

TABLA 6. RESULTADO DEL ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LOS MICROELEMENTOS

Municipio	Estadísticos Descriptivos	Zn	B	Fe	Mn	Cu	Cl	Na	Al
		ppm		meq/100 cc					
Arboledas	Media	2.26	0.132	160.93	36.73	0.29	0.66	0.15	1.99
	Mínimo	0.2	0.05	43	2	0.1	0.52	0.05	0.2
	Máximo	5.9	0.21	439	144	0.5	0.88	0.3	6.6
	DE	1.33	0.043	84.23	42.42	0.10	0.10	0.08	1.50
	CV (%)	59.07	32.83	52.34	115.49	33.09	15.43	51.1	75.68
Convención	Media	1.49	0.153	117.17	56.30	0.473	0.65	0.13	1.85
	Mínimo	0.4	0.06	17	2	0.2	0.52	0.05	0.2
	Máximo	8	0.32	346	231	2.6	0.96	0.45	4
	DE	1.89	0.065	66.66	55.31	0.53	0.10	0.09	1.24
	CV (%)	126.76	42.57	56.89	98.23	113.02	16.01	70.99	66.78
Esperanza	Media	0.99	0.202	157.00	78.67	0.360	0.65	0.18	1.10
	Mínimo	0.2	0.1	91	11	0.2	0.48	0.05	0.2
	Máximo	7.4	0.4	367	193	0.6	1.4	0.36	3
	DE	1.49	0.066	68.17	51.37	0.10	0.19	0.08	0.75
	CV (%)	151.10	32.74	43.42	65.30	27.87	29.51	41.12	67.94
La Playa	Media	5.77	0.218	154.43	109.10	0.433	0.91	0.43	1.78
	Mínimo	0.2	0.05	5	2	0.1	0.44	0.05	0.1
	Máximo	26.2	0.37	410	436	1.6	2.2	2.17	4.5
	DE	6.87	0.090	91.93	130.32	0.30	0.48	0.45	1.45
	CV (%)	118.99	41.37	59.52	119.45	70.24	52.25	104.24	81.65
Mutiscua	Media	30.52	7.92	136.75	109.27	14.58	7.12	14.72	15.77
	Mínimo	0.2	0.05	5	2	0.1	0.1035	0.05	0.1
	Máximo	151.10	42.57	410	436	113.02	52.25	104.24	81.65
	DE	48.83	14.63	128.69	108.41	29.79	13.47	28.90	26.72
	CV (%)	160.02	184.79	94.11	99.22	204.41	189.34	196.31	169.47
Ocaña	Media	47.32	21.70	148.13	130.07	30.91	23.39	32.89	30.41
	Mínimo	0.2	0.05	5	2	0.1	0.10	0.05	0.1
	Máximo	160.02	184.79	410	436	204.41	189.34	196.31	169.47
	DE	59.18	43.10	135.50	130.60	52.73	44.69	52.81	45.17
	CV (%)	125.06	198.59	91.47	100.40	170.58	191.09	160.58	148.51

DE: Desviación estándar, CV: Coeficiente de variación, Zn: zinc, B: boro, Fe: hierro, Mn: manganeso, Cu: cobre, Cl: cloro, Na: sodio, Al: aluminio.

Fuente: Autores.

La concentración de Fe y Mn de los suelos resultaron altas en todos los municipios, mientras que la concentración de boro fue baja. Dentro de las causas atribuibles se encuentra principalmente el tipo de material parental.

De igual forma, la gran diferencia encontrada entre los valores mínimo y máximo de los diferentes elementos analizados puede ser explicada por la alta variabilidad espacial intrínseca que presentan los suelos asociada principalmente a su formación, que en este caso está caracterizado por procesos morfodinámicos activos de tipo coluvial, así como deslizamientos de material que afectan la distribución natural de los nutrientes en los suelos [27].

V. CONCLUSIONES

Los órdenes de suelos predominantes fueron los Inceptisoles con subórdenes Dystrudepts, Eutrudepts Humudepts y Dystrustepts y Entisol con subórdenes Udorthents y Ustorthents.

Las clases texturas de suelos predominantes fueron franco arenosa (27.8%), franco limosa (18.3), franca (16.6), y franco arcillo limosa (12.7%).

Los suelos presentaron una alta variabilidad en las concentraciones de macro y micronutrientes y en general baja fertilidad natural.

Se encontró que más del 90% de los suelos del departamento presentaron deficiencia de fósforo y más del 80% presentaron baja CIC efectiva, y con relación a los micronutrientes se determinaron concentraciones altas de Fe y Mn y bajas concentración de boro.

FINANCIAMIENTO

La investigación fue financiada con Recurso del proyecto de Regalías “Desarrollo estratégico agroecológico con uso de TIC para el fortalecimiento de cultivos promisorios en el Departamento de Norte de Santander”. Convenio Especial de Cooperación 00356. BPIN 2016000100030, el cual fue coordinado por la Gobernación de Norte de Santander y operado por la Universidad de Pamplona.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Gobernación del Departamento Norte de Santander, financista del proyecto: “Desarrollo estratégico agroecológico con uso de las TIC, para el fortalecimiento de cultivos promisorios en el departamento de Norte de Santander, Plantar”, la oportunidad de trabajar en el mismo, lo cual permitió los recursos necesarios para desarrollar la investigación y obtener la información que sirvieron de base al presente artículo

REFERENCIAS

- [1] República de Colombia. DANE, “Encuesta Nacional Agropecuaria ENA 2014,” *Boletín técnico*, BO, Co: DANE, Nov. 13, 2015. Recuperado de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/enda/ena/2014/boletin_ena_2014.pdf
- [2] Gobernación de Norte de Santander, *Plan de Desarrollo para Norte de Santander 2016-2019*, CUC, CO: Gobernación de Norte de Santander, Abr. 2016. Recuperado de <http://www.sednortedesantander.gov.co/sitio/images/documentos/informesdelsector/PDD%20NDS%202016-2019.pdf>
- [3] M. A. Altieri & P. Rosset, “Agroecology and the conversion of largescale conventional systems to sustainable management,” *Intl J Evs Stud*, vol. 50, no. 3-4, pp. 165–185, 1996. <https://doi.org/10.1080/00207239608711055>
- [4] FAO, *El manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas*, ASU, PAR: FAO, 2013. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i3361s.pdf>
- [5] PECTIA, *Plan estratégico de Ciencia Tecnología e Innovación (2017-2027)*, BO, CO: Minagricultura, Sep. 2016. Recuperado de <https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/noticias/pectia-2017-actualizado.pdf>
- [6] S. Padulosi, G. Galluzzi G & P. Bordoni, “Una agenda global para las especies olvidadas e infrautilizadas,” *Ambienta*, No. 102, pp. 26–102, 2013. Available: <https://drive.google.com/file/d/1LLKhlPhOynwfkNcNrOHPLxGTWLBW4AFr/view>
- [7] J. E. Correa & H. Y. Bernal, “Especies vegetales promisorias de los países del Convenio Andrés Bello,” *Tomo VII*, BAR, ES: SECAB, 1990. Disponible en <https://convenioandresbello.org/cab/ciencia-y-tecnologia/programa-de-recursos-vegetales-convenio-andres-bello-prevecab/>
- [8] M. A. Altieri, “Bases agroecológicas para una producción agrícola sustentable.,” *Agricultura Técnica*, vol. 54, no. 4, pp. 371–386, 2004. Disponible en <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/35479>

- [9] República de Colombia. DANE, “Encuesta Nacional Agropecuaria ENA 2015,” *Boletín técnico*, BO, Co: DANE, 2015. Recuperado de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/enda/ena/2015/presentacion_ena_2015.pdf
- [10] República de Colombia. MinAgricultura, “por el cual se modifica parcialmente el Decreto número 312 de 1991,” *Decreto 780 de 2011*, DO: 48014, 16 de marzo de 2011. Disponible en <http://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=1164933>
- [11] C. A. Hernández & K. Faye, “Papel de la gestión del conocimiento en el aprovechamiento de los recursos naturales, la generación de tecnologías que agregan valor a productos agropecuarios y la restauración del equilibrio ecológico en las cooperativas campesinas.,” *DELOS*, vol. 3, no. 7, 2017. Disponible en <https://www.eumed.net/rev/delos/07/hmfg.htm>
- [12] IGAC, *Estudio general de suelos y zonificación física de tierras del departamento de Norte de Santander*. BO, CO: Imprenta Nacional, 2012. Disponible en <https://www.igac.gov.co/es/catalogo/estudio-general-de-suelos-y-zonificacion-de-tierras-de-norte-de-santander>
- [13] IGAC, *Metodología de Clasificación de tierras por su capacidad de uso*. BO, CO: Imprenta Nacional, Abr. 2014. Recuperado de <http://igacnet2.igac.gov.co/intranet/UserFiles/File/procedimientos/instruc-tivos/2014/M40100-02%2014V2%20Para%20la%20clasificacion%20de%20las%20tierras%20por%20su%20capacidad%20de%20uso.pdf>
- [14] Soil Survey Staff, *Soil Taxonomy*, “A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys,” 2 ed, WA, USA: USDA-NRCS, 1999. Recuperado de https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051232.pdf
- [15] E. O. McLean, “Soil pH and Lime Requirement,” in *Methods of soil analysis: part II-Chemical and microbiological properties*, A. L. Page, ed., WI, USA: SSSA, pp. 199–224, 1982. Available: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.2134/agronmonogr9.2.2ed>
- [16] G. W. Thomas, “Exchangeable cations,” in *Methods of soil analysis: part II-Chemical and microbiological properties*, A. L. Page, ed., WI, USA: SSSA, pp. 159–165, 1982. Available: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.2134/agronmonogr9.2.2ed>
- [17] D.W. Nelson & L.E. Sommers, “Total carbon, organic carbon, and organic matter,” in *Methods of soil analysis: part II-Chemical and microbiological properties*, A. L. Page, ed., WI, USA: SSSA, pp. 239–279, 1982. Available: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.2134/agronmonogr9.2.2ed>
- [18] R. H. Bray & L. T. Kurtz, “Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil,” *Soil Science*, vol. 59, no. 1, pp. 39–46, Jan. 1945. <https://doi.org/10.1097/00010694-194501000-00006>
- [19] R. L. Fox, R. A. Olsoo & H. F. Rhoades, “Evaluating the sulfur status of soils by plant and soil tests,” *Soil Sci Soc Am J*, vol. 28, no. 2, pp. 243–246, Mar. 1964. <https://doi.org/10.2136/sssaj1964.03615995002800020034x>
- [20] A. Hunter, “Methods commonly used for routine soil analysis in cooperating countries,” *International Soil Fertility Evaluation and Improvement Project*, RGH, USA: NCSU, 1974.
- [21] S. R. Porter, S. C. Spindler & A. E. Widdowson, “An improved automated colorimetric method for the determination of boron in extracts of soils, soil-less peat-based composts, plant materials and hydroponic solutions with Azomethine-H,” *J Commun Soil Sci Plan Anlys*, vol.12, no. 5, pp. 461–473, 1981. <https://doi.org/10.1080/00103628109367166>
- [22] D. R. Keeney, D. W. Nelson, “Nitrogen—Inorganic Forms,” *Methods of soil analysis: part II-Chemical and microbiological properties*, A. L. Page, ed., WI, USA: SSSA, pp. 643–698, 1982. Available: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.2134/agronmonogr9.2.2ed>
- [23] G. W. Gee, J. W. Bauder, “Particle-size Analysis,” *Methods of soil analysis: part II-Chemical and microbiological properties*, A. L. Page, ed., WI, USA: SSSA, pp. 383–412, 1986. Available: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.2134/agronmonogr9.2.2ed>
- [24] *IBM SPSS Statistics for Windows*. (Version 21.0). IBM Corp. Available: <https://www.ibm.com/mx-es/analytics/spss-statistics-software>
- [25] P. M. Vitousek & P. A. Matson, “Disturbance, nitrogen availability and nitrogen losses in an intensively managed loblolly pine plantation,” *Ecology*, vol. 66, no. 4, pp. 1360–1376, Aug. 1985. <https://doi.org/10.2307/1939189>
- [26] P. M. Vitousek & J. M. Melillo, “Nitrate losses for disturbed ecosystems: patterns and mechanisms,” *For Sci*, vol. 25, no. 4, pp. 605–619, Dec. 1979. <https://doi.org/10.1093/forestscience/25.4.605>
- [27] J. Porta, M. López-Acevedo & C. Roquero, “Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente,” 2 Ed, MAD, ES: Mundi Prensa, 1999.

Leónides Castellanos González es docente del Departamento de Agronomía. Universidad de Pamplona. Grupo de Investigación en GIAS. Pamplona. <http://orcid.org/0000-0001-9285-4879>

Ana Francisca González-Pedraza es docente del Departamento de Agronomía. Universidad de Pamplona. Grupo de Investigación en GIAS. Pamplona. <https://orcid.org/0000-0002-4392-3724>

Alfonso Eugenio Capacho Mogollón es docente Departamento de Zootecnia. Universidad de Pamplona. Grupo de Investigación en GIAS. Pamplona. <https://orcid.org/0000-0002-0044-5566>