



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO



FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL

TESIS

**AFECTACIONES A LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS
DE UN SUELO ANDOSOL POR CULTIVO DE PAPA (*SOLANUM
TUBEROSUM*) EN LA COMUNIDAD DE OJO DE AGUA,
ZINACANTEPEC.**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADAS EN CIENCIAS
AMBIENTALES**

PRESENTAN:

LORENA CASTILLO ZEPEDA

Y

MARÍA GUADALUPE CORRAL SALAZAR

DIRECTORA DE TESIS:

M. EN C. PATRICIA MIRELES LEZAMA

INDICE

RESUMEN	4
INTRODUCCIÓN	5
JUSTIFICACIÓN	6
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	6
OBJETIVO GENERAL	7
Objetivos específicos.....	7
CAPITULO I.	8
MARCO TEORICO-REFERENCIAL.....	8
1.2. ANTECEDENTES	11
1.3. LA PAPA (<i>SOLANUM TUBEROSUM</i>).....	19
1.3.1. SUELOS ANDOSOLES	22
1.3.2. PROPIEDADES DE LA EVALUACIÓN DEL SUELO.....	24
1.3.3. AGUA EN EL SUELO	30
1.3.4. EL SUELO Y LA PAPA (<i>SOLANUM TUBEROSUM</i>)	31
1.3.5. AFECTACIONES EN EL SUELO POR LA AGRICULTURA (CULTIVO DE PAPA).....	32
1.3.6. MANEJO DEL CULTIVO Y AFECTACIONES AL RECURSO SUELO	33
1.3.7. LA PAPA Y LA CONSERVACIÓN DEL SUELO	33
1.3.8. CULTIVOS DE ABONO VERDE PARA LAS PAPAS	34
1.4. METODOLOGÍAS EMPLEADAS PARA EL CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS.....	34
1.4.1. REALIZACIÓN DE ENTREVISTAS, LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO, DETERMINACIÓN DE MICRORELIEVES Y PUNTOS DE MUESTREO ...	35
1.4.2. ABERTURA DE PERFIL	36
1.4.3. CARACTERIZACIÓN EDÁFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO	37
1.4.4. MUESTREO COMPUESTO DE SUELO Y SUBSUELO DE CADA UNO DE LOS MICRORELIEVES Y MUESTREO DEL SUELO TESTIGO (MAÍZ).....	38
1.4.5. MEDICIÓN DE HUMEDAD.....	39
1.4.6. ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS EN LABORATORIO	40
CAPÍTULO II.	42
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	42
2.1. REALIZACIÓN DE ENTREVISTAS, LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO, DETERMINACIÓN DE MICRORELIEVES Y PUNTOS DE MUESTREO	43
2.2. ABERTURA DEL PERFIL	48

2.2.1.	DESCRIPCIÓN BREVE DEL PERFIL	49
2.3.	CARACTERIZACIÓN EDAFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO	50
2.3.1.	INFORMACIÓN ACERCA DE LA LOCALIDAD	50
2.3.2.	INFORMACIÓN GENERAL ACERCA DEL SUELO	50
2.4.	MUESTREO COMPUESTO DE SUELO Y SUBSUELO DE CADA UNO DE LOS MICRORELIEVES Y MUESTREO DEL SUELO TESTIGO (MAÍZ)	51
2.5.	MEDICIÓN DE HUMEDAD	51
2.6.	ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS EN EL LABORATORIO PARA EL MONOCULTIVO DE PAPA Y EL CULTIVO DE MAÍZ	52
2.6.1.	TEXTURA	52
2.6.2.	DETERMINACIÓN DE pH	53
2.6.3.	DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA	54
2.6.4.	DENSIDAD REAL, DENSIDAD APARENTE Y ESPACIO POROSO	55
2.6.5.	COLOR DEL SUELO EN SECO Y EN HÚMEDO	56
2.6.6.	ALÓFANOS	57
2.7.	ANÁLISIS POR MICRORELIEVE	57
2.7.1.	pH	58
2.7.2.	MATERIA ORGÁNICA	58
2.7.3.	NITRÓGENO (N), FÓSFORO (P) Y POTASIO (K)	59
	CONCLUSIONES	62
	ANEXOS	73
	LITERATURA CITADA	79

RESUMEN

El presente estudio se realizó en la localidad de Ojo de Agua, Zinacantepec. Se evaluaron las propiedades físico-químicas en un monocultivo de *Solanum tuberosum* L (papa), cuya unidad edáfica es un andosol, en contraste con un cultivo de maíz. Entre los análisis que se realizaron a las dos parcelas se encuentran la determinación de materia orgánica, pH, densidad real y aparente, textura, color, alófanos, nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K).

Las metodologías empleadas se derivaron de la teoría general de sistemas, así como las recomendadas por las normas mexicanas para estudios, lo cual permitió identificar que la parcela sembrada por más de 40 años con papa, ha sufrido una serie de cambios contrastado con una parcela sembrada de maíz por el mismo tiempo y en el mismo suelo, en sus propiedades como: materia orgánica, densidad aparente y real siendo éstas mayores en el cultivo de papa, el espacio poroso es mayor en el cultivo de maíz, mientras que el pH es ácido en ambos casos, y los valores de NPK son relativamente iguales, por lo que se concluye que el cultivo de papa sembrado por varios años si afecta las propiedades físicas y químicas de los suelos ándicos.

Palabras clave: suelo, andosol, propiedades físico-químicas, papa, maíz, alteraciones.

ABSTRACT

This paper was done in the town of Ojo de Agua, Zinacantepec. Were evaluated the physic-chemical properties in a monoculture of *Solanum tuberosum* L (potato), whose edaphic unit is an andosol soil, in contrast to a corn crop. Among the analyzes that were performed at the two plots are determining organic matter, pH, real and apparent density, texture, color, allophanes, nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K).

The methodologies used were derived from the general theory of systems and the recommended by Mexican norm for this studies, which identified that the plot sown for over 40 years with potato, has undergone a series of changes in their properties such as: organic matter, apparent density and real density, this are higher in the monoculture, pore space is higher in the corn crop, while pH is acid in both, and the values of NPK they are relatively equal, so it is concluded that the potato crop for several years if it affects the physical and chemical properties in andic soil.

Keywords: soil, andosol, physic-chemical properties, potatoes, corn, alterations.

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se abordan las afectaciones que resultan de análisis físico-químicos realizados en un monocultivo de papa, en contraste con un cultivo de maíz ubicados en la misma unidad edáfica (andosol). Entre las propiedades analizadas se encuentran: textura, materia orgánica, pH, densidad real, densidad aparente, espacio poroso, alófanos, nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). Cabe mencionar que las dos parcelas se localizan en la comunidad de Ojo de Agua, Zinacantepec.

En primera instancia, se cuenta con el protocolo que es la base del estudio, el cual se compone por la justificación, en donde se explica el porqué de la realización de dicho trabajo, seguido de la pregunta de investigación a la que se le da respuesta más adelante y para complementar la pregunta se cuenta con un objetivo general al que le dan respuesta los objetivos específicos que le proceden.

En seguida encontramos el Capítulo I, que lleva por nombre Marco Teórico-Referencial y está conformado por los antecedentes (trabajos previos y relacionados con el tema de investigación), un marco conceptual que aborda las características generales de la papa y los andosoles, así como las propiedades de la evaluación del suelo, la relación que existe entre el suelo y la papa, las afectaciones provocadas al suelo por la agricultura, así como la conservación del suelo y cultivos de abono verde para las papas.

Dentro de este capítulo se aborda la metodología que se siguió para la realización del trabajo, en las que destacan las utilizadas para realizar entrevistas, determinación de la zona de estudio, microrelieves y puntos de muestreo, la que se utilizó para la abertura del perfil edáfico y la caracterización del mismo, seguido de aquella para realizar el muestreo compuesto, la medición de humedad y por ultimo las normas mexicanas aplicadas para los análisis de laboratorio.

El Capítulo II, se denomina Resultados y consta de la interpretación de los datos recabados con las metodologías citadas como son los análisis de las muestras de laboratorio del perfil edáfico y de la parcela testigo (maíz) y los análisis que realizaron a los microrelieves, es decir pH, materia orgánica y macronutrientes (NPK). Al término de lo anterior se encuentran las conclusiones del estudio.

Al final se encuentra un apartado de anexos, en donde se adjuntan las tablas de datos ambientales y morfológicos del manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en campo.

JUSTIFICACIÓN

Vivimos en un planeta dominado por la especie humana donde hemos transformado y alterado los ecosistemas de la Tierra, por lo tanto, las consecuencias de las actividades humanas son una realidad. No se puede entender a los ecosistemas sin tomar en cuenta la influencia de la humanidad, los cambios generados continúan y en muchos casos se aceleran, de ahí la importancia y el papel que juegan las Ciencias Ambientales dentro del estudio del suelo y las alteraciones del mismo.

Entiéndase a las Ciencias Ambientales como una disciplina científica con una perspectiva interdisciplinaria que mediante la comprensión, análisis e interpretación de problemas ambientales generados a partir de la relación sociedad - naturaleza, pretende dar alternativas de solución, en el marco de la sustentabilidad de los procesos naturales y con el propósito de mejorar la calidad de vida de la población.

Según CONABIO (2009), el cultivo de papa es el cuarto cultivo más importante a nivel mundial puesto que su consumo oscila entre los 17 kg per cápita originando nuevos mercados y siendo redituable para agricultores y productores, elevando así la producción e intensificando el procesamiento para obtener nuevos productos derivados, además dicho cultivo por lo general afecta intensamente el suelo, lo degrada, erosiona y satura de aniones. Por ende la preocupación y la incursión de las Ciencias Ambientales para identificar qué efectos negativos produce la aplicación de altas cantidades de pesticidas y agroquímicos en cultivos de papa.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo a la experiencia empírica los andosoles son suelos con alta respuesta al cultivo de papa, pues el tubérculo requiere de buen drenaje, buena estructura y con un suelo capaz de retener agua y nutrientes, los suelos andosoles cuentan con esas características que lo hacen tener aptitud para un uso agrícola, el presente estudio pretende identificar si, ¿existen alteraciones en las propiedades físicas y químicas en estos suelos por siembra de la papa como monocultivo en periodos prolongados, comparándolo con una parcela de maíz en donde nunca se ha sembrado papa y que se ubica en la misma unidad edáfica?

Para dar respuesta a la pregunta planteada se determinó el siguiente objetivo general.

OBJETIVO GENERAL

Identificar las alteraciones a las características físicas y químicas de un suelo andosol, que propicia el cultivo de papa (*Solanum Tuberosum L.*) en la comunidad de Ojo de Agua, Zinacantepec.

Y para poder cumplir con el objetivo general, se establecieron los siguientes objetivos específicos.

Objetivos específicos

- Realizar entrevistas a informantes clave, para identificar el área de cultivo con el mayor tiempo de siembra ininterrumpida de papa.
- Realizar la caracterización edáfica de la zona de estudio
- Tomar muestras en la parcela del monocultivo de suelo y subsuelo, antes y después del ciclo agrícola.
- Efectuar un muestreo en una parcela de cultivo de maíz en el mismo ambiente edafogeográfico que funja como testigo, en donde nunca se ha sembrado papa.
- Tomar lecturas de humedad en cada punto de muestreo cada mes, durante el ciclo agrícola.
- Realizar análisis físico químicos de cada muestra representativa de materia orgánica, textura, densidad real, densidad aparente, pH, fósforo (P), nitrógeno (N) y potasio (K).

CAPITULO I.

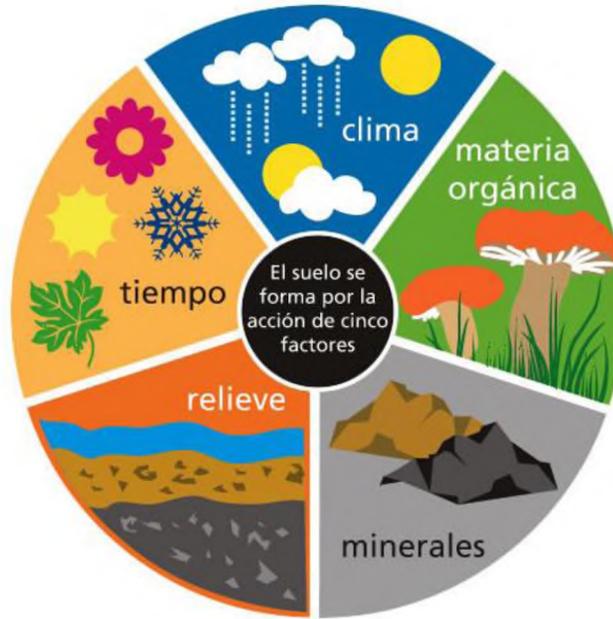
MARCO TEORICO-REFERENCIAL



1.1. EL SUELO COMO UN SISTEMA

El presente estudio tiene como referencia el análisis del suelo como sistema, según Blum y Santelises (1994). El suelo es un sistema complejo, dinámico y abierto, resultado de la acción combinada de muchos procesos, integrados por una serie de reacciones y redistribuciones de materia.

Figura 1. Factores formadores del suelo.



Fuente: Formación de suelo, 2011.

De acuerdo con estos autores, el suelo tiene seis funciones principales, tres de naturaleza ecológica y otras tres ligadas a las actividades humanas. Estas actividades no son necesariamente complementarias.

Funciones ecológicas

- Producción de biomasa (alimento, fibra y energía).
- Reactor que filtra, regula y transforma la materia para proteger de la contaminación el ambiente, las aguas subterráneas y la cadena alimentaria.
- Hábitat biológico y reserva genética de muchas plantas, animales y organismos.

Funciones ligadas a las actividades humanas

- Medio físico que sirve de soporte para estructuras industriales y técnicas, así como actividades socioeconómicas tales como vivienda, desarrollo industrial, sistemas de transporte, recreo o ubicación de residuos.
- Fuente de materias primas que proporciona agua, arcilla, arena grava y minerales.
- Elemento de nuestra herencia cultural, que contiene restos paleontológicos y arqueológicos importantes para conservar la historia de la tierra y de la humanidad.

En este caso de estudio, el suelo es el sistema abierto a entrada y flujo de energía en distintas formas, ya que forma un sistema abierto a la atmósfera y la corteza que almacena de forma temporal los recursos necesarios para los seres vivos. La disponibilidad de estos recursos (agua, energía, nutrientes minerales, etc.) depende de la intensidad y velocidad de los procesos de intercambio entre el suelo y el resto de compartimentos de los sistemas ecológicos, Jordan (2005).

Al ser el suelo un cuerpo natural tridimensional, parte de un ecosistema, su estudio debe iniciarse en el campo, con la observación detallada y precisa, tanto del suelo en su conjunto, como del medio en el que se halla, Porta et al. (1994).

En la definición de suelo que ofrece el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 1998), el suelo es un cuerpo natural formado por una fase sólida (minerales y materia orgánica), una fase líquida y una fase gaseosa que ocupa la superficie de la tierra, organizada en horizontes o capas de materiales distintos a la roca madre, como resultado de adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de materia y energía, que tiene capacidad para servir de soporte a las plantas con raíces en un medio natural. Los límites superiores del suelo son la atmósfera, las aguas superficiales poco profundas (es decir, que pueden soportar el crecimiento de raíces), las plantas vivas o el material orgánico que no ha comenzado a descomponerse. Los límites horizontales los constituyen áreas donde el suelo es invadido por aguas profundas (más de 2.5 m), materiales estériles, rocas o hielo, Jordan (2005).

El suelo es un componente crítico de la biosfera no renovable a escala humana. La salud de los recursos del suelo y una correcta gestión de los mismos es vital, no solo para el correcto funcionamiento de los ecosistemas, sino también para que los suelos desempeñen sus múltiples funciones en la mejora de la productividad biológica, soporte para el crecimiento de la cobertura vegetal, regulación y almacenamiento del flujo hídrico en el medio ambiente, atenuación de efectos

nocivos de contaminantes mediante procesos físicos, químicos y biológicos (Glanz, 1995; Sojka y Upchurch, 1999).

Porta et al. (1994) reconocen que uno de los primeros pasos en el estudio de un suelo es su descripción. Para hacerlo se recurre por lo general, a los rasgos morfológicos, porque son fácilmente observables y reflejan la acción de los procesos formadores del suelo. La actuación de unos u otros procesos proporciona información acerca de las condiciones de medio en que se ha desarrollado el suelo. La morfología de suelos se halla muy desarrollada, por su utilidad en el estudio del suelo.

Según la FAO (2008) durante la preparación del suelo para cultivar papa, se afloja toda la capa superior y, sobre todo en los suelos pegajosos, se pulveriza para evitar que se formen grumos en los camellones donde se siembran las papas. La eliminación mecánica de la maleza y la cosecha mecanizada también remueven mucho el suelo.

El estudio que nos ocupa se realizó en la comunidad de Ojo de Agua, perteneciente al Municipio Zinacantepec del Estado de México y se encuentra en las coordenadas 420172.00 mE y 2125198.00 mN. La localidad se encuentra a 3037 metros sobre el nivel del mar. Presenta una temperatura máxima en verano de 28°C y una mínima en invierno de hasta -5°C. La temperatura promedio anual es de 12°C. Presenta una precipitación media anual de 1,225.6 mm³. Las condiciones climáticas limitan las actividades de los pobladores en invierno debido a las bajas temperaturas que se presentan en el municipio Zinacantepec, principalmente en las comunidades aledañas al Nevado de Toluca, entre ellas el poblado de Ojo de Agua, PMDU (2015).

1.2. ANTECEDENTES

La papa es un cultivo que ha ganado considerable importancia en las últimas décadas. Originario de las áreas montañosas de los Andes en América del Sur (en los alrededores del lago Titicaca) fue introducida en Europa en el siglo XVI y de allí llevada al resto del mundo.

Actualmente, el consumo del tubérculo se ha extendido por Asia, Norteamérica y Latinoamérica originando nuevos mercados, elevando la producción e intensificando el procesamiento para obtener nuevos productos derivados, Sabbagh (2011).

El Centro Internacional de la papa reporta más de 4.000 variedades comestibles de papa, más de 4.300 variedades de papas nativas y unas 180 especies silvestres de papa en el mundo; en unos 100 países se cultiva papa en alturas comprendidas entre 0 y 4.700 msnm, en zonas tropicales, intertropicales y en zonas templadas, FEDEPAPA (2010).

La producción mundial de papa en fresco ha aumentado en los últimos años; pasó de 308 millones de toneladas a 322 millones entre 1998 y 2007, es decir, una tasa de crecimiento promedio anual de 0,49%. En promedio se produce 296.85 millones de toneladas, en tan sólo 18.31 millones de ha, una buena producción para una pequeña superficie, seguido del trigo, arroz y maíz, (cuadro 1).

El principal productor de papa en el año 2007 fue China con más de 70 millones de toneladas cosechadas (22,37%) en 5 millones de hectáreas, seguida por la Federación Rusa que produjo 38 millones de toneladas; le siguieron India, Estados Unidos y Ucrania, FEDEPAPA (2010).

Cuadro 1. Superficie y producción mundial de los principales alimentos (promedio de 1995-1999)

ALIMENTOS	SUPERFICIE (MILLONES DE HA)	PRODUCCION (MILLONES DE TONELADAS)
Trigo	223.48	584.23
Arroz	151.49	572.00
Maíz	139.74	581.55
Papa	18.31	296.85
Cebada	63.83	144.75
Yuca	16.54	164.37
Camote	9.32	132.21

Fuente: Elaboración propia con base en Egúsquiza, 2000.

La presencia de papas silvestres en México indica que este país se encuentra en el ámbito de origen de este tubérculo. Sin embargo, las variedades cultivadas probablemente fueron introducidas por los españoles en el siglo XVI. Hasta el decenio de 1960, el cultivo de papa se limitaba a las zonas de secano situadas a más de 2000 metros de altura, en las zonas volcánicas del centro de México, con una producción anual de unas 300 000 toneladas, y una productividad inferior a

seis toneladas por hectárea. En México por su elevada producción de papa existen diferentes variedades, (cuadro 2).

Cuadro 2. Principales variedades de papa sembrada en México.

VARIEDAD	% SUP.
Fianna	40
Alpha	10
Gigant	10
Atlantic	10
Mexicanas	3
Otras	27

Fuente: Elaboración propia con base en CONPAPA (2008) citado por Rubio, 2011.

En los siguientes 20 años, la producción se amplió a las zonas comerciales de regadío del norte y el occidente del país, donde la producción hoy alcanza las 40 toneladas por hectárea (cuadro 3). Si bien la superficie dedicada a la producción de papa ha cambiado poco desde 1980, el rendimiento promedio casi se ha triplicado desde 1961 y en 2007 hubo una cosecha extraordinaria de 1,75 millones de toneladas. El consumo per cápita de papa en México es de 17 kilogramos, pero las importaciones del Canadá y los Estados Unidos no han dejado de aumentar en los últimos años, y en 2006 llegaron a 65 000 toneladas de papa fresca y 122 000 toneladas de productos congelados, FAO (2008).

Cuadro 3. Superficie en las regiones productoras de papa en México. 2008-2011.

REGION	SUP. (Ha)	RENDIMIENTO (Ton/Ha)
Centro	14,548	21.5
Nor-Oeste	24,365	28.4
Bajío	3,551	37.2
Nor- Este	4,540	35.0
Norte	7,115	30.2
Sur	1, 940	13.5
Total y promedio	56, 062	27.4

Fuente: Elaboración propia con base en SIAP-SAGARPA, (2010) citado por Rubio, 2011.

Según el SIAP-SAGARPA (2010) citado por Sifuentes (2013), en México los Estados de Sinaloa y Sonora son los principales productores de este cultivo llegando a establecerse tan solo en Sinaloa 14 000 ha-1 anualmente.

Según el Departamento de Investigación Agrícola, en las faldas del Nevado de Toluca, principalmente es donde se siembra papa de temporal. En la preparación del suelo debe hacerse un barbecho a 30 cm y rastrear hasta que se tenga una cama de siembra apropiada ya que el tubérculo se desarrolla en suelo bien mullido y sin terrones.

Los trabajos agrícolas que se realizan al cultivo de papa inician con la desinfección de la semilla,.. La siembra se debe de hacer con 3 ton/ha de semilla a una distancia entre surcos de 92 cm y a una distancia entre plantas de 30 cm. La densidad de población es de aproximadamente 35,000 plantas/ha. En el cuadro 4 se muestran las variedades más recomendables de papa y la fecha de siembra para el Estado de México.

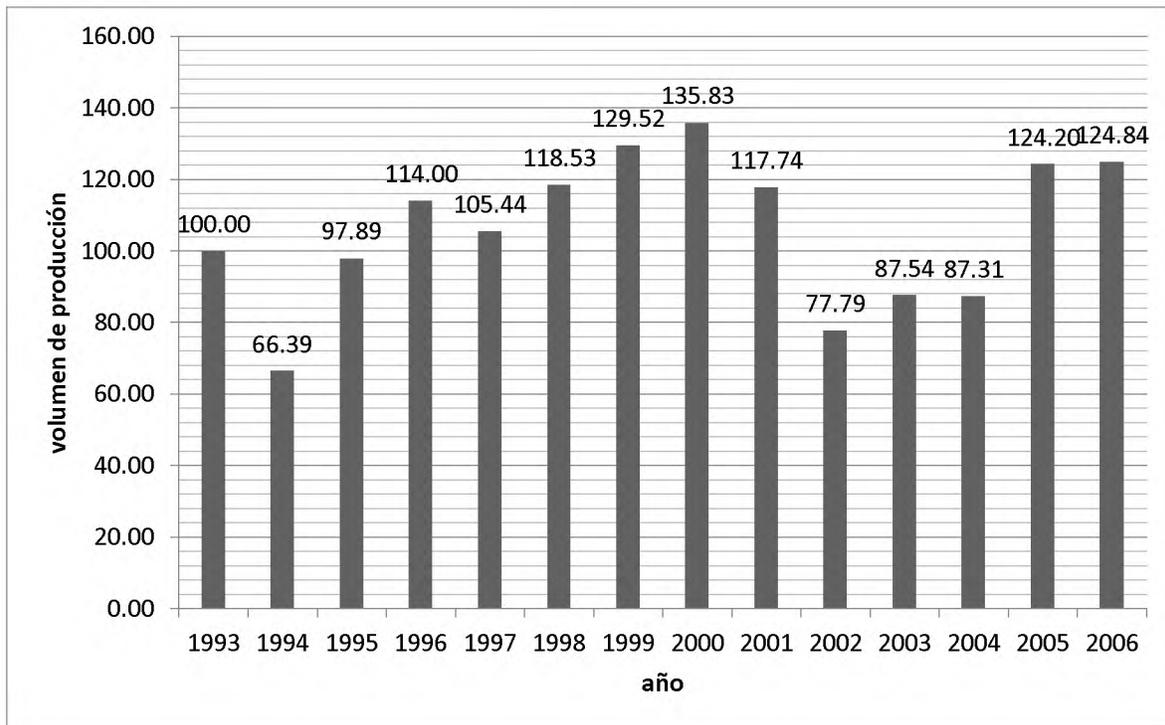
Cuadro 4. Principales variedades de papa y fecha de siembra en el Estado de México.

BLANCAS	
Alpha	15 mayo - 20 junio
Gigant	15 mayo - 30 junio
Lupita	15 mayo - 30 junio
Gigant	15 mayo - 30 junio
Norteña	15 mayo - 15 junio
Tollocan	15 mayo - 20 junio
Malinche	15 mayo - 20 junio
ROJAS	
Mexiquenses	15 mayo - 15 junio
Zafiro	15 mayo - 30 junio
Rojita	15 mayo - 30 junio
San José	15 mayo - 30 junio

Fuente: Departamento de Investigación Agrícola – ICAMEX, 2015.

El índice de volumen físico de la producción, mide el volumen total de producción. Como se muestra en la gráfica 1 en 1994, 1997, 2002 y 2003 el volumen de producción disminuyó de forma importante, no así los precios. De 2003 a 2004 se observa una disminución en el volumen de producción de 0.26%, De 2004 a 2005 el volumen de producción presentó un incremento de 42.25%.

Grafica 1. Índice del volumen físico de la producción de papa para el Estado de México. 1993-2006.



Fuente: Elaboración propia con base en EDOMEX, 2010.

En 2006 se registra un volumen de producción de 159,903 toneladas representando un aumento positivo de 0.51%, EDOMEX (2010).

Según datos del 2006, el cultivo de papa en el municipio de Zinacantepec tuvo un rendimiento de 28 toneladas por hectáreas posicionándolo para dicho año en el lugar 6º, por debajo de 5 municipios como San Felipe del Progreso, Villa Victoria, Juchitepec, Morelos, Villa de Allende y Amanalco, (cuadro 5).

Cuadro 5. Rendimiento del cultivo de papa en 10 municipios del Estado de México 2006.

Municipio	Sup. Cosechada (Ha)	producción (ton)	rendimiento (ton/ha)
San Felipe del Progreso	40	1,400	35.00
Villa Victoria	650	22,750	35.00
Juchitepec	1,125	37,238	33.10
Morelos	75	2,250	30.00
Villa de Allende	300	8,800	29.33
Amanalco	615	17,835	29.00
Zinacantepec	140	3,920	28.00
San Antonio la Isla	5	140	28.00
Joquicingo	100	2,500	25.00

Fuente: Elaboración propia con base en EDOMEX, 2006.

Para poder comprender los análisis físico químicos de suelo es importante saber en qué consiste cada uno de ellos, por ello es necesario contar con documentos que nos ayuden a comprender que implican las condiciones óptimas del recurso suelo.

En cuanto a cultivos de papa se cuenta con un estudio realizado en Veracruz sobre la estructura, agregación y porosidad en suelos forestales y cultivados de origen volcánico, donde dichos indicadores se encuentran en mejor estabilidad en suelos forestales, mientras que en suelos cultivados de largo plazo (50 años de cultivo de papa) dichas características se ven afectadas principalmente por la pérdida de macroporos en el suelo, Meza et al. (2003).

Un estudio sobre el rendimiento del suelo en áreas cultivadas con banano en Panamá, tuvo como objetivo obtener un índice para la gestión agrícola y ambiental en suelos cultivados con banano en Panamá. El estudio se realizó once fincas, en el Pacífico de Panamá. En cada sitio se midió la infiltración básica, el peso total de raíces y se tomaron muestras para determinar las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo. En todas las fincas se pudo observar elevados niveles de calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K), bajas concentraciones de materia orgánica, relacionado con la baja actividad biológica y escasa biomasa

microbiana. En la mayoría de las fincas la infiltración era lenta y había presencia de estructuras degradadas en los horizontes inferiores. El conjunto mínimo de datos que mejor ayudaron a diferenciar entre áreas de alta y baja productividad fueron: porcentaje de arena, pH, calcio (Ca), potasio (K), materia orgánica, respiración microbológica, índice de mineralización y peso total de raíces, Villareal et al. (2013).

Se retoma un trabajo sobre Indicadores de los suelos cebaderos del sur del estado de Hidalgo, México. El objetivo de este trabajo fue establecer indicadores e índices de suelos, que permitan realizar evaluaciones y estimaciones rápidas en suelos cebaderos del sur del estado de Hidalgo, México. El índice de calidad de suelos encontrado en esta región fue de 0,48 valores que estuvo fuertemente influenciado por bajos valor de carbono orgánico del suelo (COS), como propiedad que más los está afectando. Esta disminución del COS resulta también la causa principal de los valores bajos de estabilidad de agregados e infiltración y un indicador de los valores de densidad aparente, Prieto et al. (2013).

Un estudio realizado en tierras bajas de Asia Central indica que la papa en verano crece cada vez más y se ve afectado por el déficit de humedad del suelo debido al riego inadecuado y alta demanda evaporativa. Muchos agricultores no pueden aplicar los programas de riego que responden plenamente a la demanda de agua debido a la menor disponibilidad de agua a lo largo del Mar de Aral, causado por el calentamiento global y el uso competitivo de riego por el cultivo de algodón. Los efectos de diferentes regímenes de riego fueron evaluados en diez clones de papa en las tierras bajas de Tashkent, Uzbekistán, durante la campaña agrícola de verano (julio-octubre) de tres años consecutivos (2008, 2009 y 2010). La aplicabilidad de un modelo de crecimiento para predecir el rendimiento en los diferentes regímenes de agua se puso a prueba. La correlación significativa para la producción de tubérculos entre tratamientos sugirió que el rendimiento bajo la limitación de agua fue impulsado más por el potencial de la tolerancia de restricción hídrica. La producción de tubérculos se asocia más con el peso del tubérculo que al número de tubérculo, un componente ya determinado en gran medida cuando se iniciaron los diferentes tratamientos de agua, Carliet, C. et al. (2014).

Se destaca además un estudio en la zona andina de Colombia dicha zona se dedica al cultivo de papa, en dicho estudio se estudió las afectaciones del cultivo a propiedades del suelo como la densidad aparente, el espacio poroso, materia orgánica, estabilidad estructural, acidificación, disminución de calcio y magnesio y reducción de retención de humedad como causa del uso de suelo y la aplicación

de tecnologías no apropiadas que han ocasionado un grado de afectación a los suelos (Ordóñez, 2007).

1.3. LA PAPA (*SOLANUM TUBEROSUM*).

La papa (*Solanum tuberosum*) es una herbácea anual que alcanza una altura de un metro y produce un tubérculo, la papa misma, con tan abundante contenido de almidón, FAO (2008).

Este tubérculo contiene almidón, vitamina C y una de las vitaminas del complejo B, una pequeña porción de proteína y varios minerales, lo que ha hecho de este cultivo uno de los más importantes para la alimentación, CONABIO (2009).

Esta especie se distribuye de forma nativa en el continente americano, más específicamente en centro y Sudamérica y se difundió como cultivo a todo el mundo, adaptándose a la mayoría de las zonas agroecológicas.

En México se tienen registros para los estados de Aguascalientes, Baja California Sur, Chiapas, Chihuahua, Coahuila, Distrito Federal, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz, Yucatán y Zacatecas, CONABIO (2009)

a) Taxonomía

REINO: Plantae

DIVISIÓN: Magnoliophyta

CLASE: Magnoliopsida

ORDEN: Solanales

FAMILIA: Solanaceae

GÉNERO: *Solanum* L., 1753

ESPECIE: *tuberosum* L., 1753

b) Morfología

La planta de papa es de naturaleza herbácea, consta de un sistema aéreo y un sistema subterráneo, Egúsqiza (2000) que se aprecia en la figura 2.

Figura 2. Funciones fundamentales de las estructuras aéreas v subterráneas de la planta



Fuente: Egúsquiza, 2000.

Cuando las yemas comienzan a crecer se denominan “brotes”, cuyo color, forma y pilosidad permiten diferenciar las variedades. En la oscuridad los brotes crecen ahilados, blancos y débiles; a la luz los brotes son cortos, verdes o coloreados y fuertes. Los brotes dan origen posteriormente a las hojas, raíces y tallos, Huarte y Capezio (2013).

Según Egúsquiza (2000) la flor de la papa es la estructura aérea que cumple funciones de reproducción sexual, desde el punto de vista agrícola, las características de la flor tienen importancia para la diferenciación y reconocimiento de variedades. Las flores se presentan en grupos que conforman la inflorescencia.

Los tubérculos de papa son tallos modificados y tienen todas las características de un tejido caulinar. El extremo basal del tubérculo está unido al estolón que lo conecta con el resto de la planta durante el crecimiento. El extremo opuesto se denomina distal o apical y es el que concentra la mayor cantidad de “ojos”. Estos se distribuyen en forma espiralada en los tubérculos y están ubicados en las axilas de hojas escamosas llamadas “cejas”. Cada “ojo” contiene tres yemas y se corresponde al nudo del tallo, Huarte y Capezio (2013).

El fruto o baya de la papa se origina por el desarrollo del ovario, la semilla conocida también como semilla sexual, es el ovulo fecundado, desarrollado y maduro. El número de semillas por fruto va desde cero (nada) hasta 400; cada semilla tiene la facultad de originar una planta que, adecuadamente aprovechada, puede producir cosechas satisfactorias, Egúsquiza (2000).

c) Características ecogeográficas y/ o condiciones óptimas

i. Intervalo altitudinal

El intervalo altitudinal de esta especie va desde los 1300 a 3300 msnm, aunque pueden adaptarse a menor y mayor altitud dependiendo de la variedad cultivada, CONABIO (2009).

ii. Pendiente

La pendiente del terreno tiene una estrecha relación con la capacidad de captación y retención de agua, con la profundidad del suelo y con la facilidad de usar maquinaria. La pendiente para el cultivo de papa es de 0.0 a 4.0 grados para muy buena productividad, de 4.1 a 8.0 grados para mediana productividad y mayor a 8.0 grados se considera como baja productividad, INIFAP (2000).

iii. Agua

Los requerimientos de agua para el buen desarrollo del cultivo fluctúan entre 600 y 1000 milímetros por ciclo dependiendo de la temperatura, de la capacidad de almacenamiento del suelo y de la variedad de papa, INIFAP (2000).

iv. Temperatura y clima apropiados

Es esencialmente un "cultivo de clima templado", para cuya producción la temperatura representa el límite principal: las temperaturas inferiores a 10° C y superiores a 30° inhiben decididamente el desarrollo del tubérculo, mientras que la mejor producción ocurre donde la temperatura diaria se mantiene en promedio de 18° a 20° C, FAO (2008).

v. Tipo de nutrientes

Aplicar, preferentemente en banda, la fórmula 200-200-60. El nitrógeno deberá aplicarse en forma fraccionada, por lo que el 50% de este y el total de fósforo y potasio se aplican durante la preparación en la cama de siembra, y el resto de nitrógeno al cierre del cultivo, para obtener un rendimiento de 40 ton/ha o la fórmula 180-200-150 kg/ha (N P2N5 K2O).

El nitrógeno lo necesita durante todo su ciclo de vida, especialmente en la fase vegetativa, aunque con altos niveles de nitrógeno, la planta formará más follaje, sacrificando la tuberización, el fósforo lo necesita para estimular su crecimiento y la formación rápida de las raíces, el potasio lo requiere especialmente por la alta producción de almidón, además de que este elemento le proporciona a la planta

gran vigor y ayuda al desarrollo de los tubérculos. También se pueden aplicar los nutrientes en forma de fertilizantes orgánicos como estiércol, abono verde y residuos de las cosechas o en forma de fertilizantes químicos, simples o compuestos, CONABIO (2009).

d) Características del cultivo

Este cultivo de esta especie es a cielo abierto, aunque también algunas variedades se pueden llevar de manera confinada (invernaderos) o presentar ambos métodos.

El cultivo de papa es anual y la temporada de siembra variará dependiendo de la región donde se implante, en general abarca un período de desarrollo de entre 3-5 meses. En México se presentan dos ciclos agrícolas, el primero durante la época de lluvias correspondiente a primavera-verano y el segundo manejado durante la época de sequía durante otoño-invierno y el cual está asociado a riegos.

En México las fechas de siembra varían dependiendo de la región donde se cultive y la variedad de la misma. Durante la temporada primavera-verano se siembra entre el 15 de mayo al 15 de junio y durante la temporada de otoño-invierno se siembra del 15 de octubre al 15 de marzo y la fecha de cosecha variara dependiendo del inicio de siembra, sin embargo es común que se presente entre los 4 y 5 meses de haberse sembrado, CONABIO (2009).

1.3.1. SUELOS ANDOSOLES

Los andosoles son suelos que se desarrollan en eyecciones o vidrios volcánicos bajo casi cualquier clima (excepto bajo condiciones climáticas hiperáridas). Sin embargo, los andosoles también pueden desarrollarse en otros materiales ricos en silicatos bajo meteorización ácida en climas húmedos y súper húmedo.

Son fáciles de cultivar y tienen buenas propiedades de enraizamiento y almacenamiento de agua. Los andosoles fuertemente hidratados son difíciles de labrar por su baja capacidad de carga y adhesividad; cultivan con una variedad amplia de cultivos incluyendo caña de azúcar, papa (tolerante a bajo nivel de fosfato), té, vegetales, trigo y cultivos hortícolas, IUSS Grupo de Trabajo WRB (2007).

En condiciones naturales, los suelos alcanzan un estado de equilibrio tras un lento proceso de formación conocido como edafogénesis. El suelo en este estado climático se encuentra cubierto por una cobertura vegetal que le aporta nutrientes

y materia orgánica contribuyendo a la mejora de su estructura, y a la protección frente a procesos erosivos. Los suelos, entonces desempeñan correctamente todas sus funciones y presentan una calidad adecuada. No obstante, el equilibrio de los suelos se puede perturbar por diversos motivos, entre los que destacan indudablemente, los de origen antrópico, Miralles (2012).

Según Bouma (2002) citado por Muñoz (2006), mantener la calidad del suelo es uno de los objetivos de la sostenibilidad de la agricultura para lo que se requieren indicadores que permitan saber si las formas actuales de uso y manejo se acercan o se alejan de los objetivos de la sostenibilidad, con el fin de introducir los cambios necesarios.

La FAO (1995) citada por Martínez (1999) considera que el manejo sostenible de las tierras debe cumplir cuatro criterios: la producción se debe mantener, los riesgos no deben aumentar, la calidad de las tierras se debe mantener y el sistema debe ser económicamente viable y socialmente aceptable.

Dentro de la búsqueda de la sostenibilidad y la competitividad de la agricultura, la evaluación de la calidad de las tierras es un aspecto básico que permite tomar decisiones sobre las áreas más apropiadas para ubicar los cultivos y sobre los procesos de degradación de las tierras, con el fin de tomar medidas para su manejo y conservación, Martínez (1999).

Este concepto ha sido relacionado con la capacidad del suelo para funcionar. Incluye atributos como fertilidad, productividad potencial, sostenibilidad y calidad ambiental, Bautista et al. (2004).

La calidad y salud del suelo son conceptos equivalentes, no siempre considerados sinónimos. La calidad debe interpretarse como la utilidad del suelo para un propósito específico en una escala amplia de tiempo. El estado de las propiedades dinámicas del suelo como contenido de materia orgánica, diversidad de organismos, o productos microbianos en un tiempo particular constituye la salud del suelo, Bautista et al. (2004). Para Karlen y Stott (1994) citados por Muñoz (2006) la calidad del suelo se ha definido como una condición que le permite funcionar dentro de los límites de ecosistemas naturales o manejados para mantener la productividad animal y vegetal, mantener o mejorar la calidad del agua y del aire y la salud y el hábitat para los humanos.

Para Bautista et al. (2004) la calidad del suelo ha sido relacionada con la capacidad del suelo para funcionar. El término calidad de suelo se empezó a acotar al reconocer las funciones del suelo: 1) promover la productividad del sistema sin perder sus propiedades físicas, químicas y biológicas (productividad

biológica sostenible); 2) atenuar contaminantes ambientales y patógenos (calidad ambiental); y 3) favorecer la salud de las plantas, animales y humanos).

Se entiende la pérdida de calidad de los suelos, como el descenso de su productividad a través de cambios adversos en el estado de nutrientes y materia orgánica, pérdida de los atributos estructurales de los suelos y, concentración de los electrolitos y productos tóxicos que perjudican el desarrollo de la cobertura vegetal, Miralles (2012).

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP por sus siglas en inglés) (1982) citado por Miralles (2012) define de forma más simplificada la degradación de los suelos, como la disminución de la capacidad actual y/o potencial de los mismos para producir bienes o servicios, debido al resultado de uno o más procesos degradativos; entre los que destacan, como más acuciantes, la compactación y endurecimiento del suelo, la desertificación, la erosión y sedimentación del material erosionado, la laterización, y la degradación biológica y química.

1.3.2. PROPIEDADES DE LA EVALUACIÓN DEL SUELO

Para Cassel et al. (2000) citado por Muñoz (2006) para identificar propiedades de calidad de suelos se requiere conocer la relación existente entre las propiedades de éste y el desarrollo y producción de los cultivos, y es una de las estrategias básicas para lograr mayor eficiencia en la producción agrícola.

Para hacer operativo este concepto, es preciso contar con variables que puedan servir para evaluar la condición del suelo. Estas variables se conocen como indicadores, pues representan una condición y conllevan información acerca de los cambios o tendencias de esa condición. Las propiedades de la evaluación del suelo pueden ser propiedades físicas, químicas y biológicas (cuadro 6), o procesos que ocurren en él, Bautista et al. (2004).

Cuadro 6. Propiedades de la evaluación de suelo

PROPIEDAD	RELACIÓN CON LA CONDICIÓN Y FUNCIÓN DEL SUELO	VALORES O UNIDADES RELEVANTES ECOLÓGICAMENTE, COMPARACIONES POR EVALUACIÓN
Físicas		
Textura	Retención y transporte de agua y compuestos químicos; erosión del suelo.	% de arena, limo y arcilla; pedida del sitio o posición del paisaje.
Profundidad del suelo, suelo superficial y raíces.	Estima la productividad potencial y la erosión.	Cm o m.
Infiltración y densidad aparente	Potencial de lavado; productividad y erosividad.	Minutos/ 2.5 cm de agua y g/cm^3
Capacidad de retención de agua	Relación con la retención de agua, transporte y erosividad; humedad aprovechable, textura y materia orgánica.	% (cm^3/cm^3), cm de humedad aprovechable/30 cm; intensidad de precipitación.
Químicas		
Materia orgánica (N y C total)	Define la fertilidad del suelo; estabilidad; erosión.	Kg de C o N ha^{-1}
pH	Define la actividad química y biológica.	Comparación entre los límites superiores e inferiores para la actividad vegetal microbiana.
Conductividad eléctrica	Define la actividad vegetal y microbiana.	dSm^{-1} ; comparación entre los límites superiores e inferiores para la actividad vegetal y microbiana.
P, N y K extractables	Nutrientes disponibles para la planta, pérdida potencial de N; productividad e indicadores de la calidad ambiental.	Kg ha^{-1} ; niveles suficientes para el desarrollo de los cultivos.
Biológicas		
C y N de la biomasa microbiana	Potencial microbiano catalítico y depósito para el C y N, cambios tempranos de los efectos del manejo sobre la materia orgánica.	Kg de N o C ha^{-1} relativo al C y N total o CO_2 producidos.
Respiración, contenido de humedad y temperatura	Mide la actividad microbiana; estima la actividad de la biomasa.	Kg de C $ha^{-1} d^{-1}$ relativo a la actividad de la biomasa microbiana; pérdida de C contra entrada al reservorio total de C.
N potencialmente mineralizable	Productividad del suelo y suministro potencial de N.	Kg de N $ha^{-1} d^{-1}$ relativo al contenido de C y N total.

Fuente: Bautista et al., 2004

a) Indicadores físicos

Las características físicas del suelo son una parte esencial en la evaluación de este recurso porque no se pueden mejorar fácilmente. Las propiedades físicas que pueden ser utilizadas como indicadores de la calidad del suelo son aquellas que reflejan la manera en que este recurso acepta, retiene y transmite agua a las plantas, así como las limitaciones que se pueden encontrar en el crecimiento de las raíces, la emergencia de las plántulas, la infiltración o el movimiento del agua dentro del perfil y que además estén relacionadas con el arreglo de las partículas y los poros. La estructura, densidad aparente, estabilidad de agregados, infiltración, profundidad del suelo superficial, capacidad de almacenamiento del agua y conductividad hidráulica saturada son las características físicas del suelo que se han propuesto como indicadores de su evaluación, Bautista et al. (2004).

i. Textura

Las partículas del suelo individualizadas se distribuyen en un continuum de tamaños, si bien se agrupan en diversas fracciones atendiendo a su tamaño. La distinta porción de arena, limo y arcilla define la textura de cada horizonte. Los distintos horizontes de un suelo pueden estar formados por fragmentos de roca de más de un metro, hasta partículas menores de un micrómetro, Porta et al. (1994).

La textura indica el contenido relativo de partículas de diferente tamaño, como la arena, el limo y la arcilla, en el suelo. La textura tiene que ver con la facilidad con que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad con que el agua penetra en el suelo y lo atraviesa (FAO, 2008).

ii. Estructura del suelo

La estructura es una propiedad típicamente edáfica que, de presentarse, permite diferenciar un suelo de un material geológico.

Es el ordenamiento de los grupos individuales en partículas secundarias o agregados y el espacio de huecos que llevan asociados, todo ello como resultado de interacciones físico-químicas entre las arcillas y los grupos funcionales de la materia orgánica, Porta et al. (1994).

iii. Densidad aparente

La densidad aparente es la medida en peso del suelo secado a 105°C por unidad de volumen (g/cm³). Difiere de la densidad real en el sentido de que incluye al espacio poroso.

La densidad aparente es un criterio importante para la evaluación del balance hídrico y de nutrientes de un suelo, y determinante en relación a la permeabilidad y profundidad fisiológica, Porta et al. (1994).

iv. Porosidad del Suelo

El espacio poroso del suelo se refiere al porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos. En general el volumen del suelo está constituido por 50% materiales sólidos (45% minerales y 5% materia orgánica) y 50% de espacio poroso. Dentro del espacio poroso se pueden distinguir macro poros y micro poros donde agua, nutrientes, aire y gases pueden circular o retenerse. Los macro poros no retienen agua contra la fuerza de la gravedad, son responsables del drenaje, aireación del suelo y constituyen el espacio donde se forman las raíces. Los micro poros retienen agua y parte de la cual es disponible para las plantas, FAO (2008).

v. Materia orgánica

El contenido de materia orgánica en horizontes superficiales se puede estimar aproximadamente considerando las siguientes variables: a) textura, b) el pH del suelo, c) el color (en húmedo). El color de un horizonte se origina, en gran parte, de la mezcla de sustancias húmicas (negras o pardo oscuro) y minerales de colores más claros. La acumulación de materia orgánica es mayor bajo condiciones ácidas que bajo condiciones neutras.

La M.O de un suelo se compone de:

Materia orgánica fresca (materia orgánica no humificada): materia prima para la formación de las sustancias húmicas. Está integrada por:

-biomasa vegetal (mayoritaria) senescente (necromasa) procedente de la parte aérea de la vegetación y raíces, y de restos, deyecciones y secreciones de animales. Constituye una fuente de energía para las comunidades saprofitas que las consumen.

-biomasa microbiana, masa de microorganismos y microfauna menores de 5×10^{-3} μm . Está muy poco o nada alterada y no se encuentra unida a la fracción mineral. Se puede separar por procesos físicos.

Humus: se encuentra constituido por sustancias resultantes de la alteración (desnaturalización, desorganización y cambios en la funcionalidad) de productos sintetizados por las plantas y los microorganismos. Con uniones débiles con la fracción acción mineral.

-Materia orgánicas heredadas (sustancias no húmicas biomacromoléculas con características químicas reconocibles):

Materiales orgánicos sencillos: azúcares y aminoácidos
Materiales orgánicos de elevado peso molecular: polisacáridos y proteínas.

-Materias orgánicas humificadas (sustancias húmicas o humus en sentido estricto):

Materiales transformados que han perdido las características químicas de sus precursores, Porta et al. (1994).

vi. Color

El color es una propiedad que intrínsecamente no tiene apenas significación sobre el comportamiento del suelo. Su interés radica en que permite inferir otras propiedades, la naturaleza posible de los componentes, y la respuesta esperable de las plantas. Se describe a partir de los tres parámetros básicos que lo componen: matiz, brillo (ordenada) y croma (abscisa), Porta et al. (1994).

b) Indicadores químicos

Los indicadores químicos propuestos se refieren a condiciones de este tipo que afectan las relaciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo, la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas y microorganismos. Algunos indicadores son la disponibilidad de nutrientes, carbono orgánico total, carbono orgánico lábil, pH, conductividad eléctrica, capacidad de adsorción de fosfatos, capacidad de intercambio de cationes, cambios en la materia orgánica, nitrógeno total y nitrógeno mineralizable, Bautista et al. (2004).

i. pH

El valor del pH permite hacer inferencias en relación a la disponibilidad relativa de nutrientes, Siebe et al. (2006).

Cuadro 7. Valores del pH.

Ph	<	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	7.5	8.0	8.5 >
EVALUACION	Extremadamente ácido	Muy fuertemente ácido	Fuertemente ácido	Moderadamente ácido	Ligeramente ácido	Muy ligeramente alcalino	Ligeramente alcalino	Moderadamente alcalino	Fuertemente alcalino

Fuente: Siebe et al., 2006.

ii. Nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) asimilables

Nitrógeno (N)

Este elemento esencial primario forma parte de las estructuras proteicas en la planta y se considera un elemento estructural que estimula el crecimiento, especialmente hojas y tallos. El déficit de nitrógeno produce una clorosis o amarillez de las hojas, en caso de extrema deficiencia las hojas basales se “amarillean” debido a la translocación del elemento hacia la parte superior de la planta por ser este un nutriente móvil dentro de la planta, una falta de humedad en el suelo o falta de luz también produce el mismo síntoma. El exceso de nitrógeno produce una coloración verde intensa de las plantas y un tono brillante y verde muy oscuro, determinando un retraso de la madurez del cultivo. Por el contrario, una deficiencia tiende a producir un adelantamiento de la madurez del cultivo. Es absorbido como amonio (NH_4^+) o nitrato (NO_3^-), Westermann y Davis (1992).

Fósforo (P)

El fósforo es un elemento primario esencial que es determinante del crecimiento inicial de los tejidos vegetales, especialmente de las raíces. Es absorbido desde la solución suelo como fosfato diácido (H_2PO_4^-) o fosfato ácido (HPO_4^{2-}) según el pH del suelo, especialmente por difusión y contacto directo. Se requiere en cantidades muy inferiores al nitrógeno. Su déficit produce plantas pequeñas de color violáceo o amoratado por efecto de la acumulación de antocininas, debido a la detención del crecimiento celular. Es un elemento móvil de la planta por lo que se trasloca desde las hojas basales hacia las hojas superiores. Cuando la deficiencia no es severa, se produce un color verde oscuro. Contenidos adecuados de fósforo en tubérculos serían 0.2% base materia seca, Westermann y Davis (1992).

Potasio (K)

El potasio es un elemento responsable de más de 48 funciones distintas en las plantas, desde regulador del cierre estomático de las hojas de las células oclusivas, hasta principal activador de la síntesis de carbohidratos. Esta última función es importante en cultivos como la papa, debido al gran contenido de carbohidratos que debe formar la planta y almacenar en los tubérculos. Este elemento presenta una gran movilidad en la planta. Su deficiencia produce plantas con hojas un poco cloróticas y luego desarrollan puntos necróticos dispersos, los tallos del cultivo son débiles y quebradizos cuando falta potasio en el suelo. En el caso de la papa, su deficiencia produce un tono bronceado de las hojas,

especialmente basales y con aplicaciones altas de potasio, el cultivo tiende a producir grandes tubérculos. El potasio a diferencia del nitrógeno y del fósforo no forma parte estructural estable de las moléculas en las células de la planta, Fernández, P. (1997).

1.3.3. AGUA EN EL SUELO

El agua que entra en el suelo circula por el espacio de macroporos y pasa a ocupar total o parcialmente los poros capilares, donde puede ser retenida. Presenta un comportamiento dinámico, con variaciones a escala diaria. El agua disuelve y transporta elementos nutritivos, sales solubles y contaminantes, y hace posible su absorción por las raíces. El comportamiento físico del suelo viene controlado por su contenido de humedad, que influye en la consistencia, penetrabilidad, traficabilidad, temperatura, etc. El correcto manejo del agua en agricultura y en la gestión del medio ambiente requiere conocer su comportamiento, Porta et al. (1994).

a) Movimiento del agua en el suelo

El movimiento del agua en el suelo se hace en forma líquida y en forma gaseosa. Dentro de la forma líquida, el movimiento puede ser en suelos saturados o en suelos insaturados. El estudio de las leyes que rigen el movimiento del agua del suelo constituye el objetivo del estudio de la Dinámica del agua del suelo. Su conocimiento es de importancia para la interpretación de la interacción suelo-agua-planta, influye en muchas funciones ecológicas y en las prácticas de manejo. Determina cuánta agua infiltra y cuanta escurre. Su conocimiento es importante para el manejo y planificación de riego y drenaje, así como para prever el movimiento del agua del suelo hacia las raíces, atmósfera u otras capas de suelo. Para que exista movimiento de agua en el suelo debe haber una diferencia o gradiente energético del potencial hídrico total entre los puntos que se están considerando. El agua dentro del suelo se mueve en función de este gradiente. Se reconoce en general tres formas de movimiento del agua en el suelo:

1. Movimiento del agua líquida en suelos saturados.
2. Movimiento del agua líquida en suelos insaturados.
3. Movimiento del agua líquida en la fase de vapor, García et al. (2003).

b) Infiltración del agua en el suelo

La infiltración designa el proceso de entrada, generalmente vertical, de agua a través de la superficie del suelo, lo que constituye la primera etapa en el

movimiento del agua en el suelo. Con el agua penetran en el suelo las sustancias que lleve disueltas y en suspensión. Al iniciarse una lluvia, un riego o llegar una corriente de agua sobre un suelo seco, la entrada tendrá lugar en condiciones no saturadas, principalmente bajo la influencia de los gradientes de potencial matricial por diferencias en el contenido de agua y, en menor medida, de la gravedad, Porta et al. (1994).

i. Velocidad o tasa de infiltración

Es el flujo de agua que pasa a través de la superficie y fluye dentro del perfil en un tiempo dado. La infiltración del suelo y su variación con el tiempo depende del estado inicial de humedad, textura, estructura y de la uniformidad del perfil de suelo. Generalmente la infiltración es alta al inicio del proceso, cuando el suelo está seco y luego decrece asintóticamente hasta alcanzar un valor constante conocido como infiltración básica (I_b). El valor de la I_b puede asimilarse al de la conductividad hidráulica en saturación (K_s).

Sí se considera un suelo seco y se produce un evento de lluvia de intensidad de agua determinada, toda el agua que cae infiltra en cierto tiempo hasta t_1 , que es cuando la infiltración comienza a disminuir. Transcurrido un tiempo t_2 determinado llega al valor de la I_b . Si la lluvia continua con igual intensidad, el resto de agua que no infiltra en el perfil encharca la superficie del suelo (si no hay pendiente), destruyendo los agregados por acción del aire entrampado. En el caso de haber pendiente el exceso de agua escurre produciendo erosión o pérdida de suelo, García et al. (2003).

1.3.4. EL SUELO Y LA PAPA (SOLANUM TUBEROSUM)

a) Características del suelo para el crecimiento de la papa

Es una planta poco exigente a las condiciones edáficas, sólo le afectan los terrenos compactados y pedregosos, ya que los órganos subterráneos no pueden desarrollarse libremente al encontrar un obstáculo mecánico en el suelo. La humedad del suelo debe ser suficiente; aunque resiste la aridez, en los terrenos secos las ramificaciones del rizoma se alargan demasiado, el número de tubérculos aumenta, pero su tamaño se reduce considerablemente. Los terrenos con excesiva humedad, afectan a los tubérculos ya que se hacen demasiado acuosos, poco ricos en fécula y poco sabrosos y conservables. Prefiere los suelos ligeros o semiligeros, silíceo-arcillosos, ricos en humus y con un subsuelo profundo. Soporta el pH ácido entre 5.5-6, ésta circunstancia se suele dar más en

los terrenos arenosos. Es considerada como una planta tolerante a la salinidad, CONABIO (2009).

Los lotes o “chacras” más adecuados para obtener altos rendimientos en papa se caracterizan por tener pendientes moderadas, suelos profundos, bien drenados, con buena capacidad de retención de agua y bajas concentraciones de sales solubles y sodio. Sin embargo, el cultivo de papa se puede realizar en lotes con características diferentes a las mencionadas. Las texturas de los suelos utilizados en el cultivo de papa van desde arenosas a franco arcillosas, independientemente de la retención de agua, Huarte y Capezio (2013).

La papa crece mejor en suelos profundos con buen drenaje, de preferencia francos y francos arenosos, fértiles y ricos en materia orgánica. La papa puede ser sembrada en suelos arcillosos de buena preparación y buen drenaje. El pH ideal del suelo para el cultivo de papa es entre 4.5 y 7.5, EDA (2008).

1.3.5. AFECTACIONES EN EL SUELO POR LA AGRICULTURA (CULTIVO DE PAPA)

a) Problemas en el suelo por fertilización

En el manejo convencional del suelo, con vocación forestal, que se destina a la agricultura se emplean prácticas como el barbecho, la aplicación de biocidas y fertilizantes industriales, que favorecen los rendimientos, pero también alteran las características físicas, químicas y biológicas del suelo, Cruz (2012).

Los reportes sobre el efecto de la aplicación de fertilizantes son divergentes e incluso contradictorios. Esto puede atribuirse a la diversidad de ecosistemas edáficos sobre los que se aplican, así como a la naturaleza química de los productos aplicados, Cruz (2012).

La fertilización tiene la función de suministrar nutrimentos a los cultivos que no son aportados de manera natural por el suelo. Para una buena producción en términos de cantidad y calidad, usualmente los macronutrimentos NPK, son aplicados al cultivo de papa cuando las reservas del suelo son limitadas, Sifuentes (2013).

La fertilización en el cultivo de papa se ha limitado al criterio de alta exigencia, encaminado únicamente a la disponibilidad de nutrientes que están en el suelo. La nutrición de la planta de papa ha pasado a un segundo plano y se ha olvidado completamente el propósito de producción y la variedad que se va a sembrar, así como el mantener un balance nutricional que disminuya la susceptibilidad de las plantas a las enfermedades.

El cultivo de papa demanda grandes cantidades de nutrimentos, principalmente nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) durante todo su ciclo y es una de las hortalizas de mayor rentabilidad con altos costos de producción que genera excesiva aplicación de insumos (pesticidas, agua y fertilizantes), Sifuentes (2013).

1.3.6. MANEJO DEL CULTIVO Y AFECTACIONES AL RECURSO SUELO

El paso excesivo de maquinarias y el pastoreo de animales contribuyen a la compactación del suelo, lo cual reduce significativamente la eficiencia de producción (menor vigor de plantas, limitaciones para el crecimiento de la raíz y de los tubérculos) y la calidad de los tubérculos. Conocer la historia del lote en relación a la presencia de plagas (nematodos como Globodera, gusanos alambre, hongos de suelo como Fusarium, Rhizoctonia y Verticillium, bacterias como Ralstonia), malezas perennes (Sorgo de Alepo; Cebollín; Gramón; enredadera perenne, Yuyo de San Vicente), el uso de pesticidas residuales (atrazina, Pivot, Misil) y los años libres de papa, debido al incremento de enfermedades del suelo. La inclusión en la rotación de cultivos que nos son hospederos de las mismas enfermedades y plagas de la papa es una práctica recomendable (maíz, girasol, trigo, avena).

Las labores de preparación del suelo dependen principalmente del tipo y estructura del mismo, los riesgos de erosión y los requerimientos de manejo de los residuos del cultivo predecesor. El sistema de laboreo elegido debe permitir incorporar efectivamente y a tiempo los rastrojos, disminuir el tamaño de los terrones (granulometría intermedia), mejorar la infiltración de agua evitando la erosión y controlar malezas y papas “guachas” si las hubiera.

Cruz (2012) cita a Kristensen et al (2000) y menciona que el barbecho, valorado por los campesinos como estrategia para retener la humedad de las primeras lluvias del ciclo, conlleva la destrucción de los agregados y favorece la mineralización de la materia orgánica del suelo (MO), la liberación de CO₂ se incrementa y el C almacenado en los suelos disminuye. Además cita a Heat et al (2003) y dice que esta práctica ha propiciado que en algunos suelos de bosque en Estados Unidos, se haya perdido más del 50% del C total secuestrado en ellos.

1.3.7. LA PAPA Y LA CONSERVACIÓN DEL SUELO

La producción de papa sin labranza y con abono verde puede contribuir a reducir la degradación, la erosión y la contaminación del suelo con nitrógeno asociadas a la producción de este tubérculo, FAO (2008).

El cultivo de papa por lo general altera intensamente el suelo, lo degrada, erosiona y satura de nitratos. Durante la preparación del suelo, se afloja toda la capa superior y, sobre todo en los suelos pegajosos, se pulveriza para evitar que se formen grumos en los camellones donde se siembran las papas. La eliminación mecánica de la maleza y la cosecha mecanizada también remueven mucho el suelo. La agricultura de conservación –sistema de producción agrícola atento a economizar recursos– ofrece diversas técnicas útiles para conservar el suelo durante la producción de la papa, FAO (2008).

1.3.8. CULTIVOS DE ABONO VERDE PARA LAS PAPAS

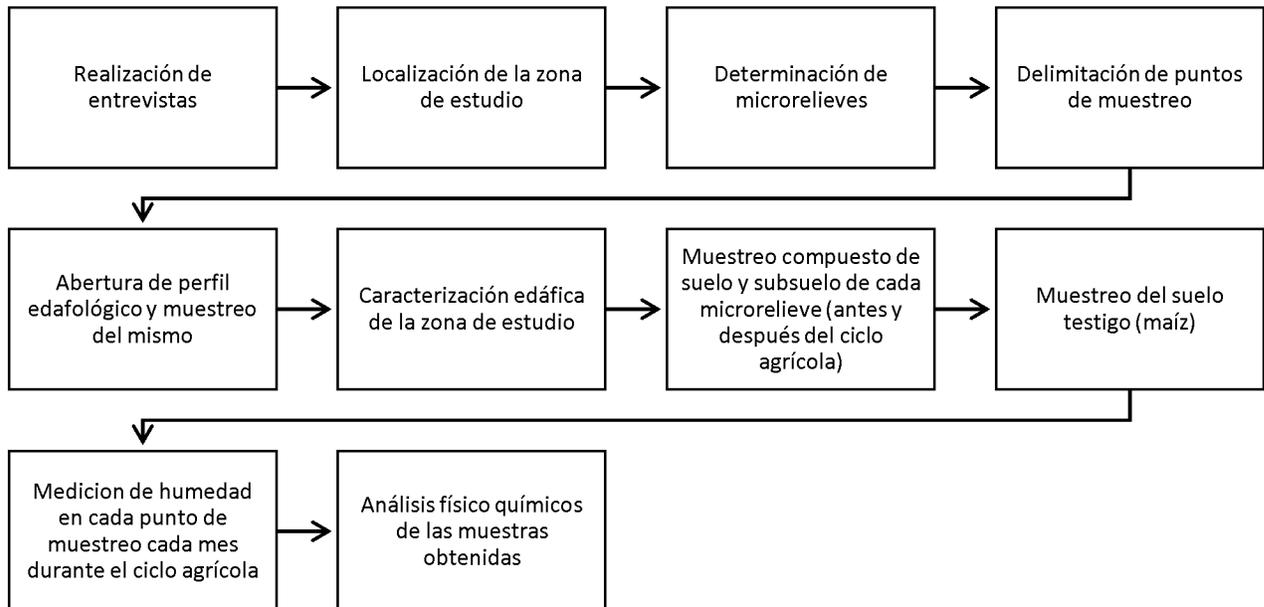
En los sistemas tradicionales de producción de papa se puede reducir el riesgo de erosión del suelo y filtración de nitratos utilizando la técnica de cultivo de plantas para rastrojo. Se preparan los camellones donde se va a sembrar la papa con mucha anticipación. Si se va a sembrar en primavera, la tierra se debe preparar antes del invierno y sembrar con una cubierta de abono verde orgánico. La papa después se planta en los camellones que, para entonces, ya están cubiertos por los rastrojos del cultivo para producir el abono, FAO (2008).

Para la siembra mecánica se dotan las sembradoras de discos especiales que cortan el rastrojo y abren los camellones de las papas. El rastrojo protege el suelo de la erosión durante las primeras semanas del cultivo. Al crecer las plantas de las papas, se incorpora el rastrojo al formar de nuevo los camellones. Se puede sembrar otro cultivo de abono verde hacia el final del desarrollo de las papas, cuando se están secando las plantas. El cultivo de cubierta ayuda a secar los camellones de las papas y contribuye al buen estado de los tubérculos, además de reducir el riesgo de dañarlos durante la cosecha. El abono verde se separa de la papa con una cosechadora mecánica de papa y se deja en el suelo la cubierta de rastrojo después de la cosecha, para proteger de la erosión, FAO (2008).

1.4. METODOLOGÍAS EMPLEADAS PARA EL CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS

Para el presente estudio se contó con revisión bibliográfica, cartográfica, de campo y laboratorio. Las metodologías empleadas sirvieron para dar cumplimiento a los objetivos específicos planteados anteriormente y se describen a continuación.

Figura 3. Esquema metodológico.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

1.4.1. REALIZACIÓN DE ENTREVISTAS, LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO, DETERMINACIÓN DE MICRORELIEVES Y PUNTOS DE MUESTREO

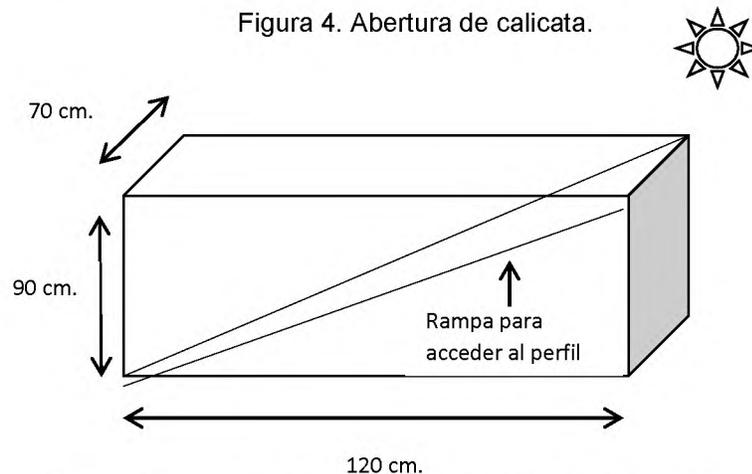
De acuerdo a Hernández, Marta, et al., (2010) para realizar entrevistas, primero se tiene que realizar un sondeo a informantes clave pertenecientes a la localidad o municipio donde se localiza la zona de estudio con la finalidad de dar con el paradero de los entrevistados que brinden la información requerida para el estudio. Dichas entrevistas se deben practicar a agricultores con experiencia mayor a 40 años en el cultivo de papa, todos ellos pertenecientes a la localidad de Ojo de Agua, las mismas sirvieron como referencia para decidir el área de estudio a analizar, la cual debía ser aquella en donde se ha practicado el monocultivo de papa durante los años antes mencionados. Las preguntas que se realizaron fueron abiertas y centradas en el tiempo en el que los agricultores han sembrado el tubérculo y principalmente el tipo, cantidad y frecuencia de fertilizantes que utilizan durante el ciclo agrícola.

Para la identificación de los microrelieves existentes en el área de estudio se utilizó un software que permitió el posicionamiento de imágenes de google, así como las curvas de nivel a una equidistancia de 5 metros, que dio como resultado

un mapa de pendientes para determinar los puntos de muestro; que en campo fueron rectificadas mediante el uso de un Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

1.4.2. ABERTURA DE PERFIL

Para el estudio morfológico de un suelo, Porta et al., (1994) mencionan que se exige la apertura de una calicata (excavación) cuyas medidas van de los 70 a 120 cm de ancho y su longitud debe permitir realizar el estudio con comodidad y con una profundidad que permita llegar a comprender la organización del suelo como un todo para comprender su génesis y respuesta frente a diversos usos, (figura 4).



Fuente: Elaboración propia con base en Porta et al., 1994.

Al abrir la calicata, el material de la parte superior, correspondiente al epipedión, se amontona separadamente del resto, de forma que no se mezclen los materiales y al tapar la calicata se pueda reponer en su lugar y se rehabilite el suelo adecuadamente.

La excavación se realiza de forma que la calicata quede orientada para recibir luz solar sin sombras en algún momento del día y el frente sea lo más vertical posible, evitando colocar la tierra encima, o alterar la vegetación natural o el cultivo.

Al iniciar el estudio de la calicata resulta conveniente hacer una primera observación en los frentes y paredes laterales, con el fin de reconocer la posible variabilidad lateral.

Posteriormente se procede a limpiar cuidadosamente el perfil con un cuchillo de monte o instrumento análogo y si se cree necesario se profundiza

horizontalmente. Identificados los horizontes se estudian detalladamente a partir de las características de referencia. Se da nombre a cada horizonte y se realizan las anotaciones en una ficha de descripción.

Después de la descripción se procede al muestreo. Si se muestrea todo el perfil, las muestras se toman empezando por la base. Las bolsas de plástico se etiquetan por fuera, anotando la referencia de la calicata y la profundidad de muestreo tanto en la bolsa como en la ficha.

1.4.3. CARACTERIZACIÓN EDÁFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO

La descripción de suelos en campo se desarrolló en base al manual de Siebe et al. (2006). Este manual pretende proporcionar las herramientas básicas para la descripción detallada de un perfil de suelo en campo, así como para la evaluación rápida y con métodos de fácil aplicación de las características ecológicas del mismo.

Bajo características ecológicas se entienden aquellas que contribuyen a la satisfacción de las funciones que el suelo cumple en los ecosistemas, como lo son el soporte y hábitat para vegetación, al igual que fungir como filtro y amortiguador de contaminantes y contribuir a la regulación del ciclo hidrológico.

A partir de una descripción detallada del perfil del suelo, se logró denominar a cada uno de los horizontes y reconocer los procesos pedogenéticos que llevaron a su actual expresión morfológica, como también clasificar de manera preliminar al suelo de acuerdo a la clasificación de la WRB (1999).

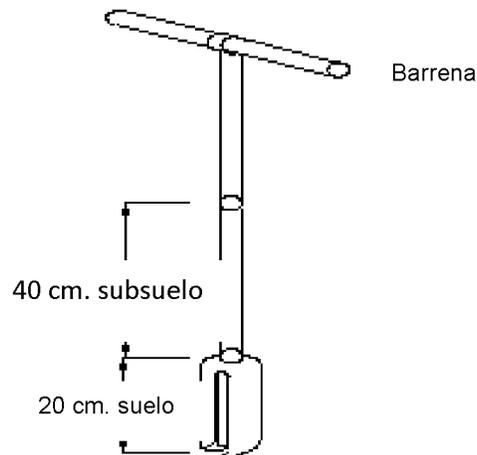
Paralelamente se lograron definir las características de cada horizonte y después del perfil completo del suelo, para a partir de ellas hacer la interpretación ecológica del sitio. Las interpretaciones pedogenéticas y ecológicas del sitio son el fundamento para la posterior evaluación del uso y manejo del suelo, Siebe et al. (2006).

Se realizó una tabla para la interpretación de los datos ambientales y morfológicos a estudiar en base al manual de Siebe et al. (2006) tomando parámetros como el clima, uso de suelo y vegetación, descripción del relieve, evidencias de erosión, material parental, drenaje superficial, pedregosidad superficial, entre otros, véase en anexos tabla 1, datos ambientales y morfológicos.

1.4.4. MUESTREO COMPUESTO DE SUELO Y SUBSUELO DE CADA UNO DE LOS MICRORELIEVES Y MUESTREO DEL SUELO TESTIGO (MAÍZ)

Con base en Fortunati et al., (1994) de cada microrelieve se extrajeron muestras de suelo (20 cm) y subsuelo (40 cm) mediante el uso de una barrena (figura 4), cabe mencionar que a la barrena empleada se le colocó una marca a la profundidad deseada con el objetivo de evitar variaciones en los análisis. Dichas muestras fueron mezcladas para obtener una muestra representativa de suelo y subsuelo, ya que otro aspecto relevante en el muestreo de suelos es la formación de muestras compuestas y la realización del análisis sobre una pequeña parte de ella.

Figura 5. Muestras de suelo y subsuelo.



Fuente: elaboración propia.

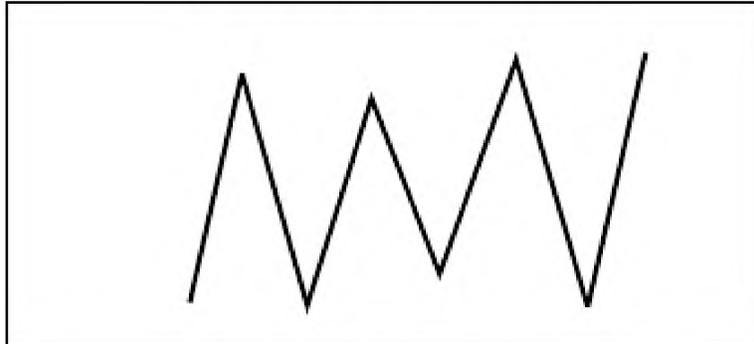
Cline (1994) señala que con las suposiciones que se establecen cuando se realiza este proceso son:

- 1). El volumen de la muestra representa a una población homogénea.
- 2). El volumen de la muestra compuesta está formada por cantidades iguales de cada muestra obtenida.
- 3). No se presentan interacciones entre los materiales en el proceso de mezclado.
- 4). El único parámetro de interés objetivo es un estimador insesgado de la medida poblacional.

Para el caso del muestreo en la parcela de maíz, Henríquez et al., (1998) sugiere que la forma más común de la toma de muestras es en forma sistemática en zigzag en la cual se toman las muestras por cada vértice. De igual manera se

requiere la toma de muestras compuestas con la finalidad de obtener una muestra representativa de suelo y subsuelo.

Figura 6. Toma de muestras en zigzag.



Fuente: elaboración propia.

1.4.5. MEDICIÓN DE HUMEDAD

Bajo la teoría de Porta et al., (1994) en cada uno de los puntos de muestreo se midió la humedad cada mes para observar su comportamiento durante el ciclo agrícola, con ayuda de un tensiómetro que consiste en un tubo con una punta de cerámica porosa en la parte inferior, un manómetro de vacío cerca de la parte superior, y un sellado capilar.

El tensiómetro se llenó con agua destilada hasta la marca de registro y se insertó en el suelo a una profundidad de 10 cm aproximadamente y se dejó funcionar de 10 a 20 segundos, para poder tomar la lectura que indica el manómetro de vacío, como lo muestra el cuadro 8 de lecturas del tensiómetro. Los rangos que se registran en el manómetro van de los 0 a los 80 centibares, donde 0 indica que el suelo está completamente saturado con agua y 80 indica humedad escasa para el crecimiento vegetal, Manual Jet Fill tensiometers (2011).

Cuadro 8. Lecturas del tensiómetro

Cero:	Una lectura del indicador cero indica que el suelo está completamente saturado con agua, independientemente del tipo de suelo. Cero lecturas se pueden esperar después de una fuerte lluvia o el riego profundo. Si la lectura de cero persiste después de un largo período de tiempo, habrá carencia de oxígeno para las raíces. Si la lectura persistente en cero después del riego, indica un mal drenaje.
0-10 centibares:	Indica un superávit de agua para el crecimiento vegetal. El agua retenida por el suelo en este rango drena dentro de pocos días. Lecturas persistentes en este rango indican condiciones de drenaje pobres y debe ser corregido para obtener un crecimiento sano de la planta.
10-20 centibares:	Indica que hay mucha humedad y también aire en el suelo para el crecimiento saludable de las plantas en todos los tipos de suelos. Esta gama es a menudo referida como el rango de "capacidad de campo" para suelos, lo que significa que el suelo ha llegado a su "capacidad" y no puede contener más agua para crecimiento de las plantas a futuro.
20-40 centibares:	Indica humedad disponible y aireación buena para el crecimiento de las plantas.
40-60 centibares:	Indica humedad disponible y aireación buena para el crecimiento vegetal en suelos de textura más finos.
60-80 centibares:	Indica humedad un poco escasa, excepto en suelos muy arcillosos.

Fuente: elaboración propia con base al manual Jet Fill tensiometers, 2011.

1.4.6. ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS EN LABORATORIO

Para la realización los análisis físico-químicos de la parcela de maíz y del monocultivo se utilizaron técnicas de laboratorio de distintos autores que en su mayoría están sustentadas por la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT (2000). Entre los análisis realizados están: determinación de color del suelo seco y húmedo utilizando tablas Munsell que permiten determinar el color a cada muestra, densidad aparente, densidad real con el picnómetro; calculada a partir de la masa y el volumen de una cierta cantidad del suelo. La masa es determinada pesando directamente el suelo y el volumen de manera indirecta por el cálculo de la masa y la densidad del agua (o cualquier otro fluido) desplazado por la muestra de suelo.

Para determinar pH se realizan dos lecturas una con agua y la otra con cloruro de potasio (KCl); utilizando un potenciómetro previamente calibrado. Luego, se introduce el electrodo en la muestra y se procede a realizar la lectura de pH.

La determinación de materia orgánica del suelo se evalúa a través del contenido de carbono orgánico con el método de Walkley y Black. Este método se basa en la oxidación del carbono orgánico del suelo por medio de una disolución de dicromato de potasio y el calor de reacción que se genera al mezclarla con ácido sulfúrico concentrado. Después de un cierto tiempo de espera la mezcla se diluye, se adiciona ácido fosfórico para evitar interferencias de Fe^{3+} y el dicromato de potasio residual es valorado con sulfato ferroso.

Para el análisis de la textura se utilizó el método de Bouyucos; se elimina la agregación debida a materia orgánica y la floculación debida a los cationes calcio y magnesio. El tiempo de lectura es de 40 segundos para la separación de partículas mayores de 0.05 mm (arena) y de 2 horas para partículas de diámetro mayores de 0.002 mm (limo y arena), véase en anexos tabla 3, técnicas aplicadas al muestreo.

Para la medición del fósforo (P) se utiliza el método de Bray (desarrollado por Bray y Kurtz, 1945). La cuantificación se lleva a cabo por colorimetría. Este método se emplea como índice del fósforo (P) aprovechable en suelos con pH neutro y ácido.

La determinación de nitrógeno (N) total se realiza con el método Micro Kjeldahl (Modificado por Bremner, 1965).

Para la determinación de potasio (K) se realizará a través del método acetato de amonio 1N determinado por absorción atómica, NOM-021-SEMARNAT (2000).

CAPÍTULO II. DISCUSIÓN DE RESULTADOS



Siguiendo la metodología establecida anteriormente, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

2.1. REALIZACIÓN DE ENTREVISTAS, LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO, DETERMINACIÓN DE MICRORELIEVES Y PUNTOS DE MUESTREO

Previo a las entrevistas con base en Hernández Marta, et al. (2010) se practicó un sondeo en la comunidad de Ojo de Agua a 15 habitantes que nos condujeran identificar a informantes clave, agricultores con experiencia mayor a 40 años practicando el monocultivo de papa, dichos entrevistados fueron tres agricultores que son mayores de 50 años de edad.

Las preguntas de la entrevista permitieron conocer el manejo integral que aplican durante el ciclo agrícola del tubérculo y ahondar en el tipo, cantidad y regularidad de fertilizantes aplicados al cultivo.

De los tres agricultores entrevistados, los dos que descartamos para llevar a cabo el estudio en sus parcelas, fueron porque aplican abono orgánico en sus cultivos, además de que han implementado la técnica de rotación de cultivos para aumentar su producción. Mientras que la parcela donde se realizó el estudio fue aquella en donde se ha sembrado papa por más de 40 años, el cultivo es de temporal y el tipo de papa que siembran es “Fianna”.

Con la información proporcionada por el dueño de la parcela del papa se procedió a generar el siguiente ábaco agrícola (cuadro 9), que permite conocer más a detalle el manejo integral que practica en el monocultivo.

Cuadro 9. Ábaco agrícola, manejo del cultivo de papa

semanas	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Etapas de desarrollo																				
				Emergencia de yemas	Desarrollo de tallos			Tuberización y floración			Desarrollo de tubérculos					Tubérculos listos		Cosecha de tubérculos		
Labores	Preparación del suelo	Siembra a mano					escarda				escarda						Se arranca la planta			
			Fumigación: Deshierbe y control de plagas y enfermedades, aplicación de fertilizantes y plaguicidas cada 5 días.																	
Plagas y enfermedades				Control de nematodo dorado y paratrioza					Control de tizón tardío											
	Paquete Tecnológico																			
Tipo de implementos	Preparación del suelo					Control de plagas, malezas y fertilización										variedades				
Tractor rastra mochila para fumigar	Rastreo de 20 cm Distancia entre surcos: 50 o 60 cm Distancia entre plantas 25 cm Densidad de población 40 000 plantas por m ²					Se aplica por aspersión manual 1 ton/ha Deep 18-46 Triple 16 con potasio Micro elementos										"fianna"				

Fuente: elaboración propia, con información de entrevista en campo

El ciclo de la papa dura 4 meses, uno o dos meses antes de la siembra se prepara el suelo, se hace un primer barbecho a éste a mediados del mes de abril, es decir, se mete un tractor con rastra o un arado para aflojar el suelo, deshacer los surcos y quitar alguna maleza. Se deja reposar el terreno aproximadamente 15 días, a fin de mes se hace un segundo barbecho para que el suelo quede listo para la

siembra, que por costumbre se realiza un día después de haber trabajado por segunda vez el terreno.

Entre los 15 o 20 días después de haber sembrado, el tubérculo empieza a brotar y por lo tanto se empieza a fumigar, posteriormente se fumiga rotando algún agroquímico, cada 5 o 6 días durante 90 o 100 días después del brote de las papas, ya que las plagas que atacan el cultivo no son siempre distinguidas a simple vista. Los fertilizantes usados son Deep 18-46, triple 16 con potasio y algunos microelementos (calcio, magnesio, azufre), en una cantidad de una tonelada por hectárea.

A los 40 días después de la siembra se escardan, a los 70 días se realiza la segunda escarda, es decir se tapan con un poco de suelo, a los 120 días se arranca la planta y se dejan aproximadamente 15 días para que “amacicen” y no se “pelen”, posteriormente se cosechan.

Con lo anterior podemos observar que para el crecimiento del cultivo se realizan diversas labores que afectan al suelo, como el laboreo con tractor y la aplicación de diversos agroquímicos, ya que no se usan abonos orgánicos, y el uso de pesticidas es porque en esta zona hay diversas plagas como el nematodo dorado, paratiroza y tizón tardío, que en ocasiones afectan a la planta.

Habiendo obtenido el apoyo del agricultor para hacer las pruebas en su parcela, se realizó una visita a campo para ubicar la zona de estudio y se registraron los puntos de localización en un GPS, el cultivo de papa, está localizado en las coordenadas 420172.00 mE y 2125198.00 mN a los 3006 msnm, en la localidad de Ojo de Agua, Municipio de Zinacantepec al sur de la localidad San Juan de las Huertas, cuenta con 3 hectáreas de superficie, además su localización corresponde al piedemonte bajo del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca, la mayoría de la zona que lo rodea es área de cultivo y donde los suelos predominantes son andosoles, (croquis 1).

Croquis 1. Localización de las áreas de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

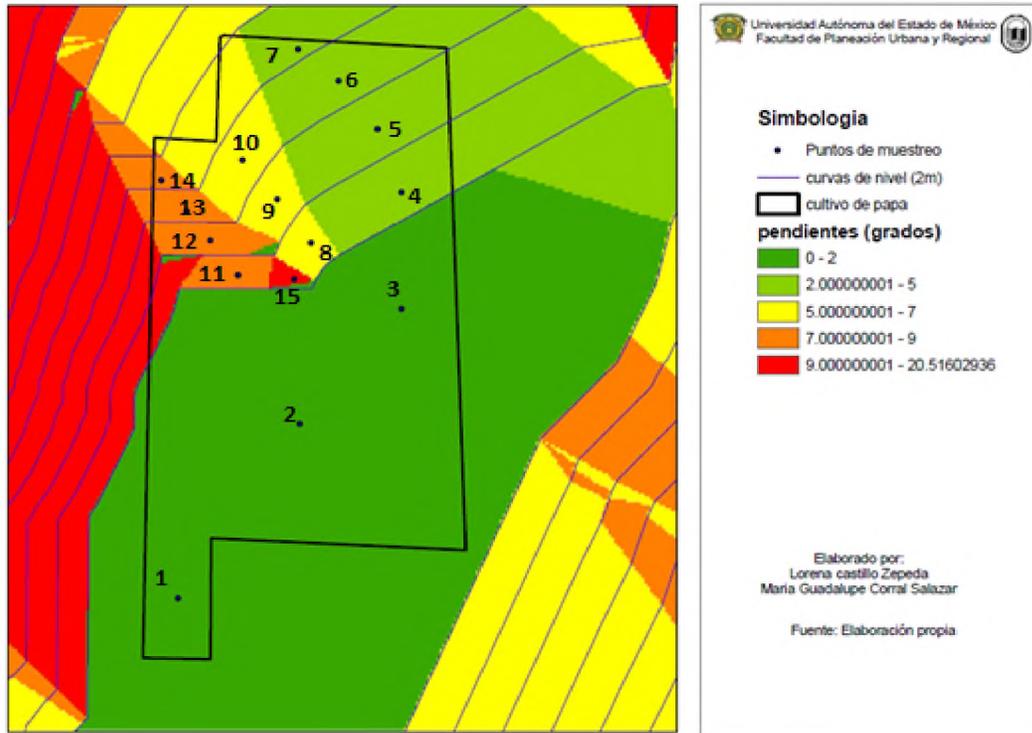
Cuando se realizó la primer visita a campo se observó que la parcela de papa se encuentra sobre un lomerío, resultado de las explosiones del volcán Xinantecatl y el depósito de materiales no consolidados como ceniza y el material piroclástico, principalmente pumicita, por lo que se infirió que el comportamiento de los suelos por topografía podría ser diferente, puesto que la diferencia entre las pendientes es amplia entre uno y otro microrelieve, por lo que se decidió realizar el muestreo de suelo atendiendo el microrelieve.

En la actualidad se cuenta con softwares que nos permiten conocer más a detalle las altitudes y pendientes de un terreno, con ayuda de google earth, se ubicó la zona de estudio de manera satelital, introduciendo los puntos del GPS que se tomaron en campo, para poder trazar la ruta que nos permitiera conocer el perfil de elevación de la zona, este perfil hizo más certera la identificación de los microrelieves de la zona de estudio y nos permitió observar que había diferencias de altitud de 5 hasta 11 metros, y pendientes de entre 2° hasta 20°, lo cual era una variación en la cual podría haber diferentes dinámicas edáficas y por lo tanto se tenían que establecer microrelieves para estudiar el comportamiento de cada uno de ellos.

Por ello se procedió a medir las pendientes de la parcela y utilizando un software, se realizó un mapa de pendientes, utilizando las curvas de nivel de la zona de estudio a una equidistancia de 5 metros y creando una red irregular de triángulos (TIN) a partir de las mismas, se obtuvo una imagen de elevaciones, que utilizando la herramienta "slope" ayudó a generar las pendientes y determinar los diferentes

microrelieves, dichas pendientes fueron de 0 a 2°, de 2 a 5°, de 5 a 7°, de 7 a 9° y de 9 a 20°, se eligieron dichas pendientes porque esa es la variación mínima y máxima entre diferentes puntos del terreno (figura 7).

Figura 7. Pendientes y puntos de muestreo de la zona de estudio.



Fuente: elaboración propia con base en INEGI.2010.

Mediante la ubicación de los 5 microrelieves presentes en la parcela del monocultivo de papa, que cuenta con una extensión territorial de 3 hectáreas, se determinaron los 15 puntos de muestreo a partir de la superficie de cada uno de ellos. Por lo tanto los microrelieves determinaron el número de muestras a analizar (cuadro 10).

Para el primer microrelieve de la pendiente de 0-2° se establecieron 3 puntos de muestreo, uno en la parte final del microrelieve, otro para el área central del y uno más para la parte superior, ésta abarca 14, 100 m² y representa el 47% de la zona de estudio.

Para los microrelieves de 2-5°; 5-7° y 7-9°, los puntos de muestro fueron establecidos seguidos de forma diagonal, pero que abarcara una zona media entre dos curvas de nivel. El microrelieve de 2-5° ocupa el 24% de la zona de estudio, es decir, 7,200 m². El microrelieve 5-7° representa el 14%, que abarca 4, 200 m² y el microrelieve 7-9° ocupa 10%, que es una superficie de 3, 000 m²

Del microrelieve de 9-20° se estableció un solo punto de nivel ya que es el área de menor superficie, pues tan sólo ocupa 5%, siendo esto 1, 500 m².

Cuadro 10. Puntos de muestreo.

Pendiente	Microrelieve 1 Sup. 14, 100 m ²	Microrelieve 2 Sup. 7, 200 m ²	Microrelieve 3 Sup. 4, 200 m ²	Microrelieve 4 Sup. 3, 000 m ²	Microrelieve 5 Sup. 1, 500 m ²
0-2°	3 puntos de muestreo				
2-5°		4 puntos de muestreo			
5-7°			3 puntos de muestreo		
7-9°				4 puntos de muestreo	
9-20°					1 punto de muestreo

Fuente: Elaboración propia.

Los puntos a muestrear fueron registrados en un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) para hacer más certera la ubicación de los puntos el día del muestreo.

2.2. ABERTURA DEL PERFIL

Para conocer los procesos edafogenéticos y la situación actual del suelo se realizó la abertura del perfil siguiendo la metodología de Porta (1994), (fotografía 1).

Fotografía 1. Perfil 1, Ojo de Agua, Zinacantepec.



Fuente: foto tomada en campo.

Al abrir el perfil edáfico se encontró que el material que intervino en su formación efectivamente fue la pumicita y cenizas volcánicas, derivado de la cercanía a la

que se encuentra la zona de estudio con el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca. Realizando los análisis correspondientes, se sabe que es un suelo franco-arenoso, resultado del depósito de material no consolidado, dando paso a la evolución de un suelo andosol.

2.2.1. DESCRIPCIÓN BREVE DEL PERFIL

Perfil con coordenadas 420172 mN y 2125198 mE, de un metro de ancho y aproximadamente 90 cm de profundidad, en el cual se distinguieron tres horizontes y una capa de roca pumicita, bien drenado, de color café claro a oscuro, uniforme en apariencia, especialmente si está húmedo, pedregosidad casi nula, con gravas finas. Desarrollo de estructura débil, con agregados de tamaño medio a fino. Todo el perfil es friable, poroso y permeable. La distribución de raíces es normal con mayor densidad en los primeros 40 cm.

a) Descripción por horizontes

En el perfil se distinguieron 3 horizontes de suelo, uno de ellos enterrado bajo una capa de roca pumicita, los cuales se describen a continuación:

Horizonte Ap, con profundidad de 0 a 15 cm, color en seco marrón grisáceo (10YR 5/2) y en húmedo 10YR 3/2 pardo grisáceo muy oscuro, textura franco arenoso, consistencia suelta en seco y en húmedo, con una estructura en bloques subangulares, contenido medio de materia orgánica (4%),; pedregosidad común de 5-15%, con gravas medias (6-20mm) en forma subredondeadas muchos poros intersticiales finos y medios, densidad alta de raíces finas, límite claro y uniforme; ligeramente ácido (pH 6.0 en agua).

Horizonte A12 , con profundidad de 15 a 35 cm, color en seco marrón (10YR 5/3) y en húmedo marrón muy oscuro 10YR 2/2; textura franco arenoso; consistencia ligeramente duro en seco y friable en húmedo, ligeramente adherente y ligeramente plástico, contenido medio de materia orgánica (2%), ligeramente ácido (pH 6.0 en agua), estructura en bloques subangulares, media a fina, pedregosidad común (5-15%) con gravas finas y en forma subredondeada e intemperizado; muchos poros intersticiales finos, densidad de raíces finas y en abundancia común(5-20), límite claro y uniforme.

Horizonte CA, de roca pumicita, con profundidad de 35 a 50 cm, pedregosidad dominante de roca pumicita, piedras de 60-200 mm, fuertemente intemperizado, raíces medias (2-5 mm) y en poca abundancia (1-2).

Horizonte 2A11 con profundidad de 50 a 90 cm, color marrón amarillento (10YR 5/4) en seco y marrón oscuro (10YR 3/3) en húmedo, textura franco, consistencia suave en seco y friable en húmedo, adherente y ligeramente plástico, ligeramente ácido (pH 6.0 en agua), estructura en bloques subangulares; pedregosidad poca

(0-2%) pero gruesas (20-60 mm) y fuertemente intemperizado; raíces finas y pocas.

2.3. CARACTERIZACIÓN EDAFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO

Para la descripción de los datos ambientales del sitio en campo se siguieron los criterios de Siebe y otros (2004) (tabla 1, ANEXOS).

2.3.1. INFORMACIÓN ACERCA DE LA LOCALIDAD

- a. número del perfil: 1
- b. nombre del sitio: Ojo de Agua, Municipio de Zinacantepec
- c. Clasificación del suelo: andosoles
- d. Fecha de la descripción: 2 de marzo de 2015.
- e. Localización: en la localidad de Ojo de Agua, Municipio de Zinacantepec al sur de la localidad San Juan de las Huertas
- f. Coordenadas: 420172.00 mE y 2125198.00 mN
- g. Altitud: 3006 msnm
- h. Forma del terreno:
Posición fisiográfica: ladera convexa, ligeramente inclinada.
Forma del terreno circundante: ondulado, lomeríos bajos de mesetas disectadas
Microrelieve: 5
- i. Pendiente: Ligeramente inclinado (2-4 %), exposición: E
- j. Uso del suelo o vegetación: agricultura de temporal, no muestra signos de vegetación, arado.
- k. Clima: templado subhúmedo, con temperaturas en el verano de 28°C y en invierno hasta -5°C.
La temperatura media anual oscila entre los 12°C, existe una precipitación media anual de 1,225.6 milímetros. Las precipitaciones se presentan en los meses de mayo a octubre.

2.3.2. INFORMACIÓN GENERAL ACERCA DEL SUELO

- a. Material parental: sedimentos piroclásticos.
- b. Drenaje natural: clase 2 = bien drenado.
- c. Condiciones de humedad en el perfil: seco (corte de carretera con exposición S)
- d. Profundidad al manto freático: desconocida, pero probablemente mayor a 5 m, no influye al perfil.
- e. Presencia de rocas superficiales: no
- f. Evidencia de erosión: moderada por surcos.
- g. Presencia de sales o soda: ninguna
- h. Influencia humana: agricultura de temporal.

2.4. MUESTREO COMPUESTO DE SUELO Y SUBSUELO DE CADA UNO DE LOS MICRORELIEVES Y MUESTREO DEL SUELO TESTIGO SEMBRADO CON MAÍZ.

En cada punto de muestreo se extrajo una muestra de suelo los 20 cm superficiales y subsuelo de 20 a 40 cm de profundidad con la ayuda de una barrena, las muestras de suelo fueron mezcladas en un recipiente etiquetado con el nombre de suelo, y las de subsuelo en otro etiquetado con el nombre de subsuelo, esto para obtener las muestras representativas de cada uno de ellos por microrelieve (fotografía 2). Así se obtuvieron 5 muestras de suelo y 5 de subsuelo.

Fotografía 2. Obtención de muestras.



Fuente: foto tomada en campo.

En un cultivo de maíz se tomaron muestras en forma de zigzag, obteniendo tres puntos de muestreo en la parcela, se mezcló el suelo de cada punto para obtener una muestra representativa, de igual forma se hizo con las muestras de subsuelo. Lo anterior con la finalidad de tener un suelo que fungiera como testigo, para determinar si el cultivo afecta o no al recurso suelo comparándolo con el cultivo de maíz.

2.5. MEDICIÓN DE HUMEDAD

Para determinar si el cultivo de papa demanda una gran cantidad del recurso agua se midió la humedad en cada uno de los puntos de muestreo; con la ayuda del tensiómetro se realizó la lectura de humedad, cada mes durante el ciclo agrícola (cuadro11).

Cuadro 11. Lecturas de humedad.

Numero de punto de muestreo	Puntos de Muestreo		Pendiente (°)	Humedad (centibares)			
	X	Y		Abril	mayo	junio	Julio
1	420084.46	2125073.12	0 a 2	2.5	0	0	0
2	420130.78	2125142.34	0 a 2	9	0	0	0
3	420169.65	2125188.13	0 a 2	7.5	0	0	0
4	420130.25	2125291.44	2 a 5	3	0	0	0
5	420145.69	2125278.66	2 a 5	10	0	0	0
6	420161.13	2125259.49	2 a 5	2.5	0	0	0
7	420169.65	2125234.46	2 a 5	7	0	0	0
8	420108.95	2125247.24	5 a 7	9	0	0	0
9	420122.26	2125231.80	5 a 7	5	0	0	0
10	420135.04	2125214.23	5 a 7	8	0	0	0
11	420078.07	2125239.25	7 a 9	4	0	0	0
12	420087.65	2125227.01	7 a 9	10	0	0	0
13	420096.70	2125215.29	7 a 9	8	0	0	0
14	420107.35	2125201.45	7 a 9	5	0	0	0
15	420128.65	2125199.85	9 a 20	8	0	0	0

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos obtenidos en campo.

Como se muestra en la tabla, los resultados registrados de la primera toma de lectura de humedad no rebasan los 10 centibares, por ende indica un superávit de agua para el crecimiento vegetativo. Para los siguientes meses; mayo, junio y julio las lecturas en los puntos de muestro dieron 0 centibares, ya que en estos meses las lluvias fueron intensas y por lo tanto el suelo estaba a capacidad de campo.

2.6. ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS EN EL LABORATORIO PARA EL MONOCULTIVO DE PAPA Y EL CULTIVO DE MAÍZ

Los análisis realizados al monocultivo de papa de los dos primeros horizontes y del cultivo de maíz a la muestra de suelo y subsuelo fueron textura, pH, materia orgánica, densidad real, densidad aparente, % de espacio poroso, color del suelo en seco y en húmedo, alófanos, nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K).

Los resultados del perfil del cultivo de papa se contrastan a continuación contra los resultados del cultivo de maíz.

2.6.1. TEXTURA

Para estudiar la fase sólida del suelo, es necesario conocer un aspecto como lo es la distribución de partículas minerales según sus tamaños, lo cual permitirá

conocer otras características y propiedades relacionadas con el comportamiento del suelo; en el perfil edáfico los resultados de textura son los siguientes:

Cuadro 12. Resultados de textura

TEXTURA			
Monocultivo de papa		Cultivo de maíz	
HORIZONTE	textura	MUESTRA	Textura
Ap (0-15 cm)	Franco arenoso	Suelo	Franco arenoso
A12 (15-35 cm)	Franco arenoso	Subsuelo	Franco arenoso

Fuente: elaboración propia.

Como nos muestra el cuadro 12 la textura en ambos casos es franco arenoso, puesto que sólo hay una separación entre ambas parcelas de 500 metros, por lo tanto se encuentran en la misma unidad edáfica y su textura no cambia. Los suelos andosoles al poseer este tipo de textura, los hace tener aptitud para el cultivo de papa.

2.6.2. DETERMINACIÓN DE pH

Cuando se habla de pH del suelo se hace referencia a la cantidad de hidrogeniones en el suelo. El que un suelo sea ácido, neutro o alcalino determina en gran parte la solubilidad de varios compuestos, la fuerza de unión de los iones en los sitios de intercambio y la actividad de los microorganismos, Aguilar, et al. (1987).

Cuadro 13. Resultados de pH.

pH					
Monocultivo de papa			Cultivo de maíz		
HORIZONTE	pH		pH		
	H ₂ O	KCl	MUESTRA	H ₂ O	KCl
Ap (0-15 cm)	5.4	4.3	Suelo	5.2	4.5
A12 (15-35 cm)	6.0	5.5	Subsuelo	5.4	4.7

Fuente: Elaboración propia.

La determinación de pH de las muestras se realizó utilizando un potenciómetro previamente calibrado, se tomaron dos lecturas una con agua y la otra con cloruro de potasio (KCl).

Como se muestra en el cuadro 13 el pH en ambas parcelas va de 4 a 6, considerándolos por lo tanto suelos ácidos, sin embargo se evidencia que el pH en la parcela de maíz es más ácido en el subsuelo lo que indica que los insumos agrícolas empleados en la producción de maíz deja más residuos como hidrogeniones.

2.6.3. DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

La importancia del contenido de materia orgánica en el suelo está dada por su influencia directa e indirecta sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo como: color, estructura, plasticidad, capacidad de intercambio catiónico, disponibilidad de nitrógeno, fosforo, potasio, pH, control de flora microbiana, génesis del suelo, entre otros.

Se entiende por materia orgánica del suelo a todo material de origen orgánico que se encuentra en diferentes estados de descomposición del suelo.

Cuadro 14. Resultados de materia orgánica.

Materia orgánica					
Monocultivo de papa			Cultivo de maíz		
HORIZONTE	% m.o	% C	MUESTRA	% m.o	% C
Ap (0-15 cm)	3.5	2.0	Suelo	2.0	1.1
A12 (15-35 cm)	3.2	1.9	Subsuelo	2.0	1.1

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede ver en el cuadro 14, los porcentajes de materia orgánica y de carbono son más elevados en el perfil edáfico de papa, que en el cultivo de maíz. El mayor contenido de se encuentra en los dos primeros horizontes, esto se le puede atribuir a que los residuos de la cosecha se quedan sobre el área de cultivo y el laboreo que se le da a ésta parcela reincorpora la materia orgánica al suelo, favoreciendo la descomposición de la misma.

El porcentaje de materia orgánica y de carbono resultan más bajos en el cultivo testigo, debido a que la relación C: N es más lejana y sumado a esto, una vez realizada la cosecha el rastrojo es removido por el agricultor, para después utilizarlo como alimento molido para el ganado.

2.6.4. DENSIDAD REAL, DENSIDAD APARENTE Y ESPACIO POROSO

La densidad real, es la densidad de las partículas del suelo, varía con la proporción de elementos que constituyen el suelo y en general está alrededor de 2.65 y para los Andosoles de 2.0.

La densidad aparente refleja el contenido total de porosidad en un suelo y es importante para el manejo de los suelos (refleja la compactación y facilidad de circulación de agua y aire).

El espacio poroso del suelo se refiere al porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos. En general el volumen del suelo está constituido por 50% materiales sólidos (45% minerales y 5% materia orgánica) y 50% de espacio poroso. Dentro del espacio poroso se pueden distinguir macro poros y micro poros donde agua, nutrientes, aire y gases pueden circular o retenerse. Los macro poros no retienen agua contra la fuerza de la gravedad, son responsables del drenaje, aireación del suelo y constituyen el espacio donde se forman las raíces. Los microporos retienen agua y parte de la cual es disponible para las plantas.

Se deriva de la relación entre la densidad real y la densidad aparente, se expresa en % y se calcula:

$$EP = [100(Dr - Da)] / Dr$$

Cuadro 15. Resultados de densidad real, aparente y espacio poroso.

Densidad real, densidad aparente y espacio poroso							
Monocultivo de papa				Cultivo de maíz			
HORIZONTE	D.R	D.A	% EP	MUESTRA	D.R	D.A	% EP
Ap (0-15 cm)	2.2	1.0	54.5	Suelo	3.0	0.9	69.7
A12 (15-35 cm)	1.9	0.9	49.6	Subsuelo	2.5	0.9	63.2

Fuente: elaboración propia.

Los resultados del perfil del monocultivo de papa indican que el suelo en estudio, posee una densidad real (DR) por abajo del promedio (2.6), lo que podría indicar que el suelo posee un buen porcentaje de materia orgánica; mientras que la densidad real del cultivo de maíz está cerca del promedio, lo que corrobora que hay un más bajo contenido de materia orgánica.

Para el caso de los análisis de densidad aparente (DA), no refleja cambios significativos entre un cultivo y otro.

Un suelo ideal para retener agua y para que puedan penetrar las raíces debe tener 50% de porosidad, por lo tanto las dos parcelas se encuentran en ese rango, aunque en el cultivo de maíz, el espacio poroso aumenta sin embargo el método empleado no nos indica si son macroporos o microporos, pero podemos deducir que los suelos tienen buena aeración por el color de estos, como se ve reflejado en el color de los mismos.

2.6.5. COLOR DEL SUELO EN SECO Y EN HÚMEDO

El color del suelo depende de sus componentes y varía con el contenido de humedad, materia orgánica presente y grado de oxidación o reducción de minerales presentes. Se puede evaluar como una medida indirecta ciertas propiedades del suelo. Se usa para distinguir las secuencias en un perfil del suelo, determinar el origen de materia parental, presencia de materia orgánica, estado de drenaje y la presencia de sales y carbonato.

Cuadro 16. Resultados de color en seco y húmedo.

Color					
HORIZONTE	EN SECO	EN HUMEDO	MUESTRA	EN SECO	EN HUMEDO
Ap (0-15 cm)	10YR 5/2 marrón grisáceo	10YR 3/2 pardo grisáceo muy oscuro	Suelo	10YR 5/2 marrón grisáceo	10YR 3/2 pardo grisáceo muy oscuro
A12 (15-35 cm)	10YR 5/3 marrón	10YR 2/2 marrón muy oscuro	Subsuelo	10YR 5/3 marrón	10YR 2/2 marrón muy oscuro

Fuente: elaboración propia.

El color de ambas parcelas es igual, puesto como se mencionó anteriormente, se encuentran en la misma zona edáfica y ambos reflejan el mismo proceso pedogenético donde el hierro está en un estado de oxidación, así mismo los colores marrones denotan la presencia de palagonita en estos suelos andosoles.

2.6.6. ALÓFANOS

Shoji y Ono, (1978); Warkentin et al., (1988) citado por Campos et al. (2000) mencionan que el término alófono es el nombre genérico que se da a un grupo de minerales no cristalinos del tamaño de la arcilla y que incluye en su composición química silicio, aluminio y agua y que son característicos de los suelos de origen volcánico.

La presencia de alófanos en el perfil de papa es el siguiente:

Cuadro 17. Presencia de alófanos en el perfil edáfico

HORIZONTE	alófanos
Ap (0-15 cm)	xxx
A12 (15-35 cm)	xxx

Fuente: elaboración propia con base en análisis de laboratorio.

Como se muestra en el cuadro 17, la presencia de alófanos es intensa en los dos horizontes analizados, esto es característico de los andosoles.

2.7. ANALISIS POR MICRORELIEVE

Antes de la siembra y después de la cosecha se tomaron las muestras compuestas de suelo y subsuelo por cada micro relieve, con la intención de buscar si a diferentes pendientes la dinámica de las propiedades químicas varían, por lo que se obtuvieron 5 muestras de suelo y 5 de subsuelo representativas de cada pendiente, y se determinó el pH, materia orgánica y nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) de cada muestra.

Para determinar si hay cambios en las propiedades químicas del suelo, se hace una comparación de las muestras antes de la siembra y después de la cosecha.

2.7.1. pH

Para determinar pH se siguió la metodología ya mencionada, se hizo la lectura con agua y cloruro de potasio, los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Cuadro 18. pH por micro relieve antes de la siembra y después de la cosecha.

pendiente	MUESTRA	pH antes de la siembra		pH después de la cosecha	
		H ₂ O	KCl	H ₂ O	KCl
0-2 °	suelo	4.810	4.440	6.018	5.199
	subsuelo	4.790	4.479	6.378	5.563
2-5 °	suelo	4.609	4.370	5.410	4.566
	subsuelo	4.903	4.550	5.925	5.406
5-7 °	suelo	4.690	4.499	5.368	4.589
	subsuelo	5.073	4.791	5.965	5.241
7-9 °	suelo	4.817	4.471	5.390	4.681
	subsuelo	5.004	4.679	6.040	5.324
9-20 °	suelo	4.473	4.288	5.161	4.401
	subsuelo	5.173	4.871	6.181	5.285

Fuente: elaboración propia.

Como se muestra en el cuadro 18 el pH aumenta en todas los microrelieves después de la cosecha, y antes y después de la cosecha los subsuelos de todos los microrelieves son menos ácidos que los del suelo y entre microrelieves el comportamiento es el mismo es más ácido el suelo que el subsuelo.

2.7.2. MATERIA ORGÁNICA

Para la determinación de materia orgánica se realizó la metodología indicada, y los resultados fueron los siguientes:

Cuadro 19. Resultados de materia orgánica por microrelieve

Pendiente	MUESTRA	Materia orgánica antes de la siembra		Materia orgánica después de la cosecha	
		M.O	%C	M.O	% C
0-2 °	suelo	2.409	1.397	1.325	0.768
	subsuelo	2.298	1.332	1.163	0.675
2-5°	suelo	2.401	1.392	1.682	0.975
	subsuelo	2.301	1.334	1.169	0.678
5-7°	suelo	2.008	1.164	1.359	0.788
	subsuelo	3.234	1.875	1.181	0.685
7-9°	suelo	2.811	1.630	1.825	1.059
	subsuelo	2.117	1.227	1.183	0.686
9-20°	suelo	2.729	1.582	2.220	1.287
	subsuelo	2.676	1.552	1.011	0.587

Fuente: elaboración propia a partir de los análisis en laboratorio.

En el caso de la materia orgánica, se observa que disminuye después de la cosecha y por ende el % de carbono, esto es principalmente al laboreo que se realiza al suelo para poder sembrar la papa, el carbono capturado regresa a la atmósfera y por lo tanto su porcentaje disminuye y no se observa diferencias importantes entre los microrelieves (cuadro 19).

2.7.3. NITRÓGENO (N), FÓSFORO (P) Y POTASIO (K)

El **nitrógeno** aumenta el desarrollo de la planta, el área foliar y, por tanto, la superficie que es capaz de fotosintetizar. La materia seca total aumenta y también el tamaño de los tubérculos y su contenido en almidón.

Según el ICAMEX, los criterios para evaluar un suelo con base en su contenido de nitrógeno se muestran en la cuadro 20.

Cuadro 20. Criterios para evaluar un suelo con base en su contenido de nitrógeno total.

Categoría	Valor (%) de nitrógeno en el suelo
Extremadamente pobre	< 0.032
Pobre	0.032 – 0.063
Medianamente pobre	0.064 – 0.095
Medio	0.096 – 0.126
Medianamente rico	0.127 – 0.158
Rico	0.159 – 0.221
Extremadamente rico	> 0.221

Fuente: elaboración propia, en base a ICAMEX.

El **fósforo** favorece el desarrollo radicular, el número de tubérculos y la concentración de almidón. Además, produce un desarrollo más temprano del cultivo y adelanta la tuberización.

El **potasio** influye fundamentalmente en el contenido en materia seca, lo que está directamente relacionado con la susceptibilidad a los daños por golpes y favorece, además, el crecimiento radicular, incrementa la resistencia a las heladas, a la sequía y a las enfermedades.

De acuerdo a ICAMEX la clasificación de fósforo y potasio se muestran a continuación:

Cuadro 21. Clasificación del contenido de fósforo y potasio.

clasificación propiedad	Muy bajo	Bajo	Mod. bajo	medio	Mod. alto	Alto	Muy alto
Fósforo (ppm)	< 15	15- 40	40 - 60	60 - 80	80 - 120	120 – 200	> 200
Potasio (ppm)	< 150	150 – 200	200 - 250	250 - 350	350 - 650	650 – 1000	> 1000

Fuente: elaboración propia, en base a ICAMEX.

Para determinar los niveles de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en cada microrelieve se mezcló las muestras de suelo y subsuelo de cada uno de ellos y se obtuvo únicamente una muestra representativa, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Cuadro 22. Resultados de NPK antes de la siembra y después de la cosecha del cultivo de papa.

Antes de la siembra				Después de la cosecha			
Microrelieve	N %	P ppm	K ppm	Microrelieve	N %	P ppm	K ppm
0-2	0.11	304	240	0-2	0.09	260	180
2-5	0.12	271	340	2-5	0.12	279	160
5-7	0.15	250	200	5-7	0.12	159	180
7-9	0.14	293	200	7-9	0.13	213	140
9-20	0.19	323	220	9-20	0.07	341	160

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en el cuadro 22 el porcentaje de nitrógeno y potasio antes de la siembra, en los microrelieves de 0-2°; 2-5°; 5-7° y 7-9° se encuentran en la categoría de medianamente rico en nitrógeno y medio para potasio el micro relieve de 9-20 ° es rico en nitrógeno y medio para potasio pero aún así es el más elevado de todos los microrelieves.

Después de la cosecha el porcentaje de nitrógeno disminuye en todos los microrelieves, aunque no en consideración, en el microrelieve de 9- 20° donde había sido rico, se vuelve medianamente pobre. Se infiere que la pérdida de nitrógeno puede deberse a la pérdida de materia orgánica por la inexistente

práctica de rotación de cultivos, uso de abonos verdes y por la acción acelerada de la erosión.

Los niveles de fósforo para todos los microrelieves antes de la siembra son muy altos. Después de la cosecha de igual forma los valores disminuyen, pero aun así los microrelieves 1, 2, 4 y 5 se mantienen en una clasificación de muy alto, pero el microrelieve 5 está en un valor alto de fósforo.

La respuesta a la fertilización con fosforo (P) no es muy común cuando los niveles son ≥ 36 ppm para cultivos agronómicos. Los niveles de fosforo para todos los microrelieves antes de la siembra son muy altos, van de las 250 ppm a 323 ppm. Después de la cosecha los valores disminuyen, pero aun así los microrelieves 1, 2, 4 y 5 se mantienen en una clasificación de muy alto, pero el microrelieve 5 está en un valor alto de fosforo. Dicho lo anterior, este suelo no presenta problemas de abastecimiento de fosforo (P) y se puede notar en el tono verde oscuro de las hojas del cultivo de papa.

Para el caso del fosforo, antes de la siembra están en un rango medio, después de la cosecha para todos los microrelieves la cantidad de fósforo se encuentran en valores bajos.

La respuesta a la fertilización con potasio (K) no se observa comúnmente cuando los análisis de suelos dan como resultado arriba de 175 ppm para cultivos agronómicos. Para el caso del potasio, antes de la siembra están en un rango medio (200 ppm a 340 ppm), después de la cosecha para todos los microrelieves la cantidad de potasio se encuentran en valores bajos (140 ppm a 180 ppm). Que en un principio los niveles de (K) sean medios se debe a que las cantidades arrojadas al suelo de dicho macronutriente siempre está presente en la parcela, ya que el propietario practica el monocultivo del tubérculo y los fertilizantes que aplica para una tonelada por hectárea son Deep 1846, Triple 16 con potasio y algunos micronutrientes.

Los resultados del análisis de macronutrientes (NPK) del cultivo testigo son los siguientes:

Cuadro 23 Resultados de NPK del cultivo de maíz

Muestra	N %	P ppm	K Ppm
Testigo	0.20	212	180

Fuente: elaboración propia.

En la parcela de maíz su contenido de nitrógeno es rico, el contenido de fosforo es de igual forma muy alto, pero el contenido de potasio es bajo. Se infiere, se debe al poco laboreo que se realiza y a las técnicas aplicadas en la parcela.

CONCLUSIONES

La realización de éste estudio permite dar respuesta a la pregunta de investigación y a la vez se cumplió con el objetivo general, ya que sí existen alteraciones a las propiedades físicas y químicas de los suelos andosoles por el monocultivo de papa en periodos prolongados. Los cambios se observaron al contrastar una parcela de papa con una de maíz en propiedades como el porcentaje de materia orgánica, pH, la densidad aparente y real, espacio poroso, y en el contenido de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K).

La comparación se hizo con un cultivo de maíz para identificar si las labores y la aplicación de diferentes concentraciones de agroquímicos afecta la salud del suelo para cumplir con la demanda del consumo de papa, comparándolo con uno que pudiese afectar más al suelo para cumplir mayores demandas pero con otras prácticas agrícolas, puesto que el maíz es el cultivo predominante por excelencia en Mesoamérica, el consumo per cápita anual en México oscila en los 134 kg, cifra que resulta elevada en comparación con el consumo de papa, siendo en este caso un consumo de tan sólo 17 kg, pero que de una u otra forma son parte de los cinco alimentos con mayor valor de producción, además de que en las zonas aledañas hay una importante presencia de cultivos de maíz. Cabe destacar que se comparan mismas unidades edáficas pero con diferentes cultivos para determinar las afectaciones a las propiedades del suelo, y no afectaciones al rendimiento.

La caracterización edáfica se logró al realizar tablas que resultaron útiles a la hora de la interpretación ecológica del sitio y pedogenética del perfil.

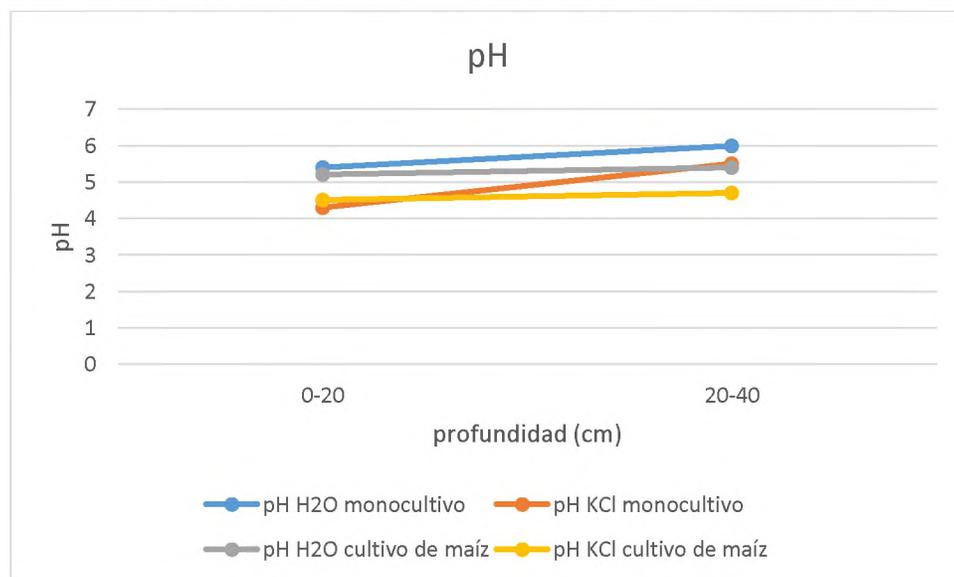
Una de las propiedades que no cambia en el cultivo de papa, comparándolo con la parcela testigo es la textura, en primer lugar, porque esta propiedad requiere de muchos años de evolución para que pueda cambiar y en segundo lugar porque las dos parcelas se encuentran dentro de una misma unidad edáfica, y los suelos predominantes en esta zona son andosoles, suelos volcánicos que se desarrollaron y se presentan por la cercanía con el volcán Xinantecatl.

De igual forma, contrastando los resultados de pH del cultivo de papa contra el cultivo de maíz, nos muestra que ambos cultivos tienen un pH por debajo de 6, ya que el monocultivo de papa presenta valores entre 5.4 y 4.3 en agua y cloruro de potasio respectivamente en una profundidad de hasta 20 cm, y 6 y 5.5 para una profundidad de 20 a 40 cm; mientras que el cultivo de maíz sus valores son de 5.2 y 4.5 y 5.4 y 4.7 en relativamente la misma profundidad, sin embargo, el cultivo de maíz es más ácido pero aun así a ambos se les considera suelos ácidos, el factor principal que los hace ser ácidos es de factor antropogénico, es bien cierto que los fenómenos naturales de acidificación pueden acelerarse con las prácticas agrícolas, puesto que hoy en día se realiza agricultura intensiva y que no utiliza la

reposición de bases, este factor se conjunta con uno más agudo, la utilización masiva de fertilizantes. Las lluvias intensas que se registraron durante el periodo del ciclo agrícola de la papa, también es un factor que influenció en la acidez del suelo, pues la lluvia arrastra hacia el interior del suelo las bases, el laboreo de los suelos, que es una característica de la agricultura intensiva, también determina un pH bajo, puesto que al dejar temporalmente el suelo sin una cubierta vegetal protectora, facilita el proceso de lixiviación de bases de intercambio.

Dentro del laboreo, está el barbecho; en cultivo de papa se realiza para preparar la tierra dos veces, dicha actividad en base a referencias del agricultor si no se realiza hay problemas en el desarrollo de la papa, ya que se quedan ciertas plagas en el suelo y se transmiten al nuevo tubérculo, pero lo que no saben los agricultores es que es que ésta preparación provoca un incremento de la mineralización del nitrógeno orgánico, que trae consigo aumento del ion hidrógeno y por lo tanto una caída del pH natural del suelo (grafica 2).

Grafica 2. pH del monocultivo de papa y del cultivo de maíz.



Fuente: Elaboración propia.

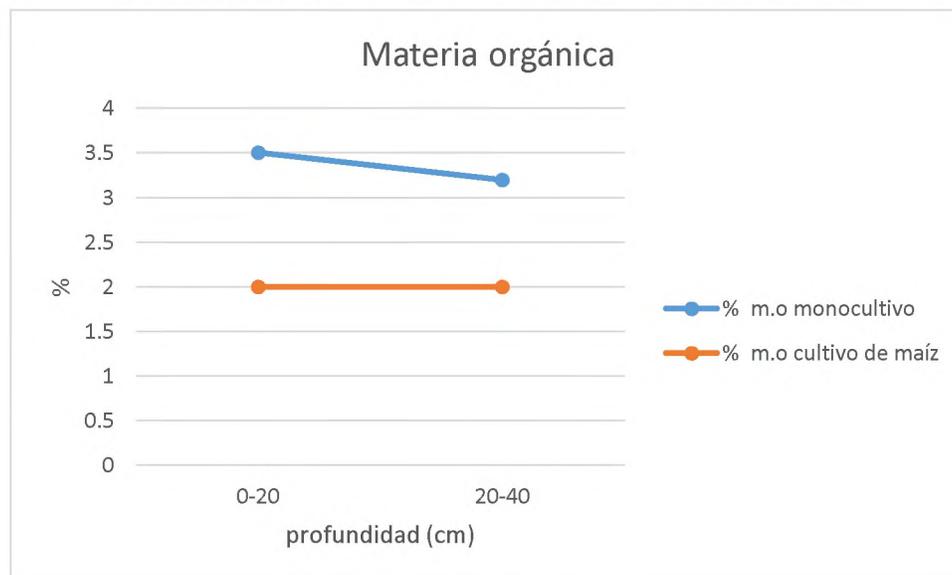
En cuanto a la materia orgánica, el perfil de papa presenta un porcentaje de 1% más alto que el de maíz, esto se puede atribuir a la composición de los tejidos de las plantas ya que la composición de las solanáceas en su relación C: N es más estrecha que en la gramíneas esta materia orgánica procede de las plantas después de recolectar las papas.

Si bien los niveles de materia orgánica en el cultivo de maíz no son tan altos en comparación con el monocultivo de papa, no quiere decir que no sea un suelo rico en cuanto a esta propiedad, simplemente los niveles en el monocultivo se

atribuyen a que los residuos de la cosecha se quedan sobre el área de cultivo, hasta que se realiza el siguiente laboreo que a su vez reincorpora los residuos al suelo. Así mismo, cuando los residuos se descomponen naturalmente sobre la parcela del monocultivo, ésta se convierte en un medio eficaz de inmovilización de carbono a largo plazo, de ahí que también el porcentaje de carbono sea más alto que en la parcela de maíz.

La materia orgánica determina otras propiedades del suelo, proporciona una buena estabilidad del suelo, lo ayuda a conservar o mejorar su estructura y con ello aumentar su poder para retener agua, evitar pérdidas por escurrimiento y disminuir la erosión, mejorar la estructura del suelo permitirá tener un suelo con la capacidad de cultivarse fácilmente.

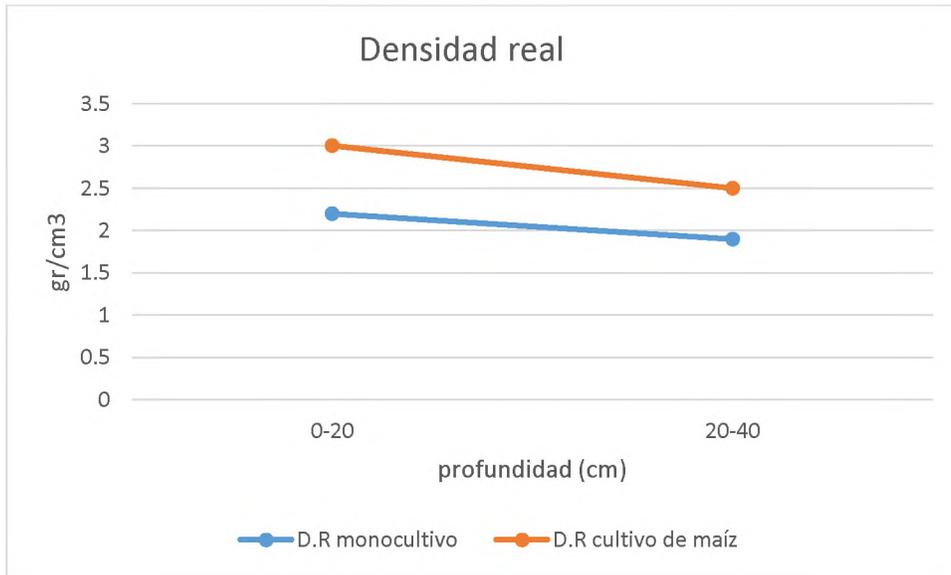
Grafica 3. M.O del monocultivo de papa y del cultivo de maíz.



Fuente: Elaboración propia.

La densidad real tiene que ver con la materia orgánica, y su valor está por debajo del promedio indicando que la materia orgánica tiene valor considerablemente alto, además esto también se ve reflejado en la acidez del suelo.

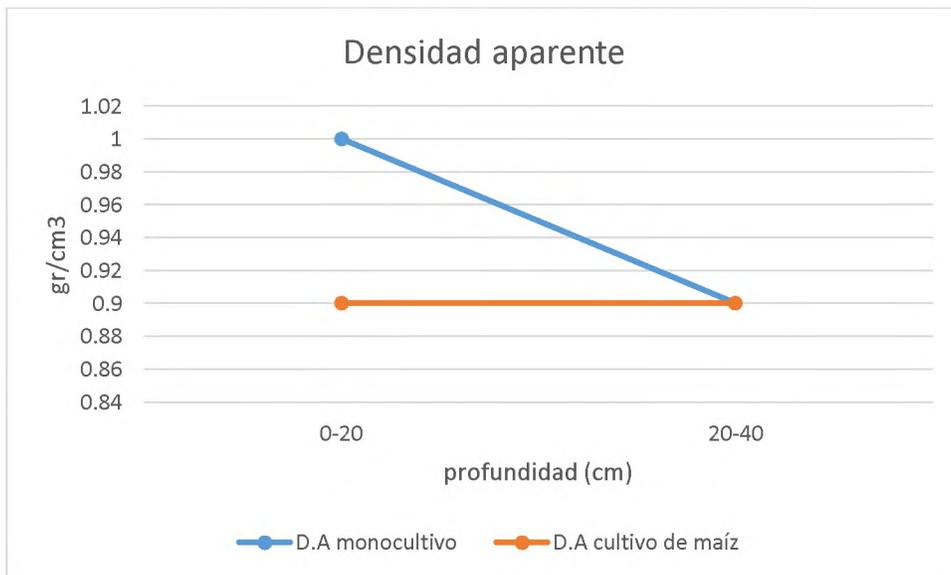
Grafica 4. DR del cultivo de papa y de maíz.



Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado la densidad aparente refleja la compactación por el paso del tractor para labrar el suelo y las precipitaciones; esto conlleva a que disminuya el volumen de poros, incrementando, por tanto el peso por unidad de volumen.

Grafica 5. DA del cultivo de papa y de maíz.

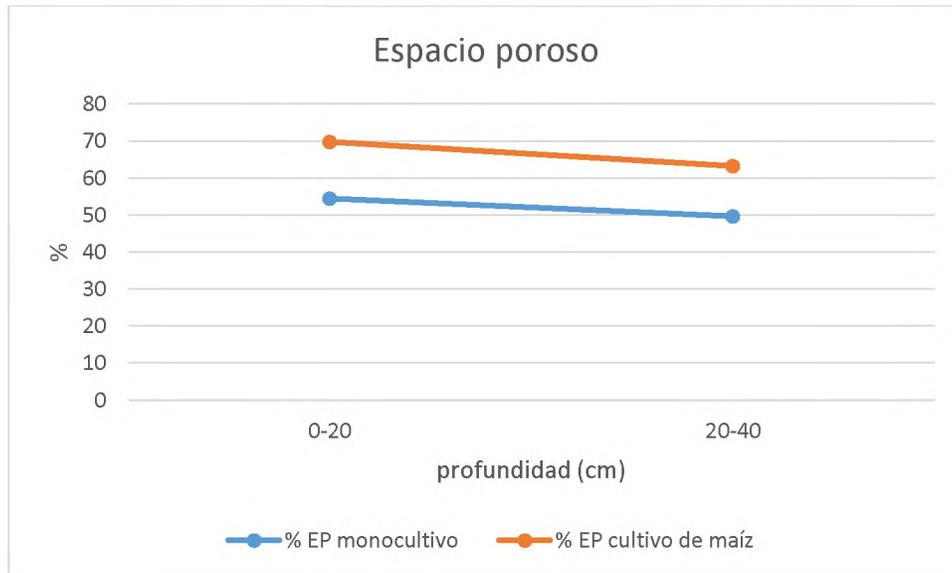


Fuente: Elaboración propia.

Estas dos propiedades dan como resultado el porcentaje de espacio poroso en un suelo, el porcentaje del cultivo de papa está por abajo del rango ideal de un suelo, un poco más del 50%, propiedad que le hace ser un suelo apto para la retención

del agua y para la penetrabilidad de las raíces. En suelos arenosos los poros predominantes son los macroporos.

Grafica 6. Espacio poroso del cultivo de papa y de maíz.



Fuente: Elaboración propia.

El color del suelo hace referencia a la presencia de materia orgánica y a otros minerales como hierro o carbonatos, aquí la presencia de la materia orgánica es más predominante, puesto que el color es oscuro.

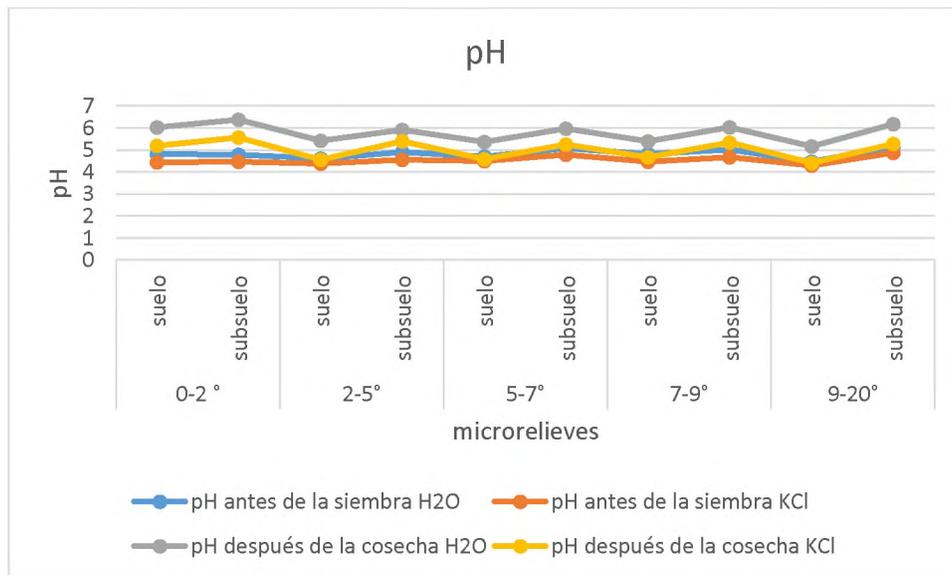
Ciertas propiedades determinan la humedad del suelo, además de otros factores como las intensas lluvias que se presentaron durante el ciclo agrícola de la papa. El suelo andosol, lo hace tener más capacidad para retener agua, puesto que las arcillas alófanicas características de este tipo de suelo juegan un papel importante, debido a su estructura esférica, poseen la capacidad de retención de agua, además que en el ciclo agrícola las intensas lluvias no dejaron que el suelo drenara lo suficiente. La materia orgánica aumenta el área de superficie de suelo y que el suelo mantenga cierta cantidad de materia orgánica lo hace poseer la capacidad de absorber y retener el agua; mientras más materia orgánica hay en un suelo, mayor será su capacidad para retener la humedad.

Para comprender las alteraciones después de la cosecha, se evaluaron propiedades químicas como pH, MO, y NPK, los resultados en la parcela sembrada con papa muestran que el pH aumenta después de la cosecha, la materia orgánica disminuye al igual que los niveles de NPK.

Los niveles de pH aumentan considerablemente debido a que hay aplicación de bases durante el ciclo agrícola, dicha aplicación se hace de manera constante, en

forma de micro elementos, y también mediante la aplicación de potasio utilizando el agroquímico “triple 16 con potasio”

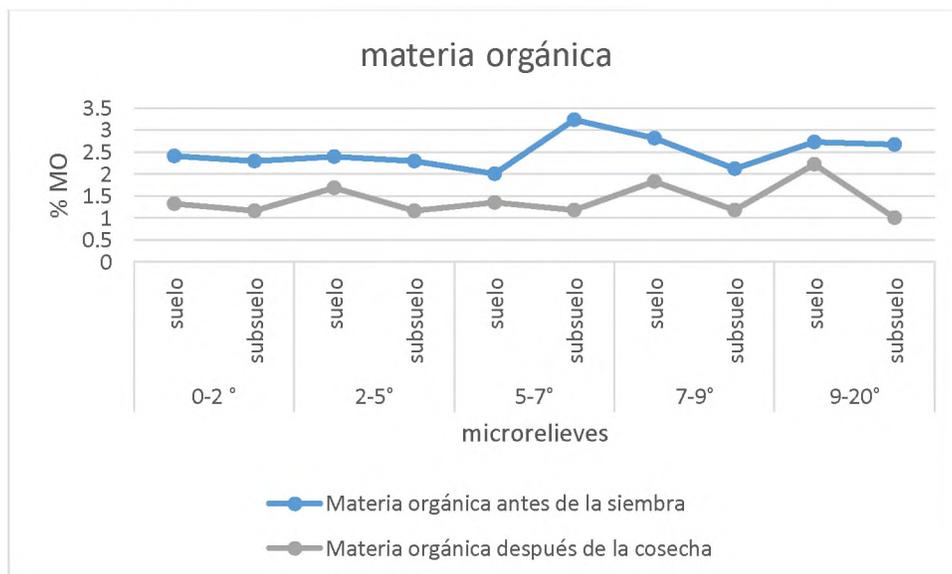
Grafica 7. pH antes y después de la cosecha por microrelieve



Fuente: Elaboración propia.

En contraste la materia orgánica disminuye por las labores que se le aplican al suelo.

Grafica 8. MO antes y después de la cosecha por microrelieve

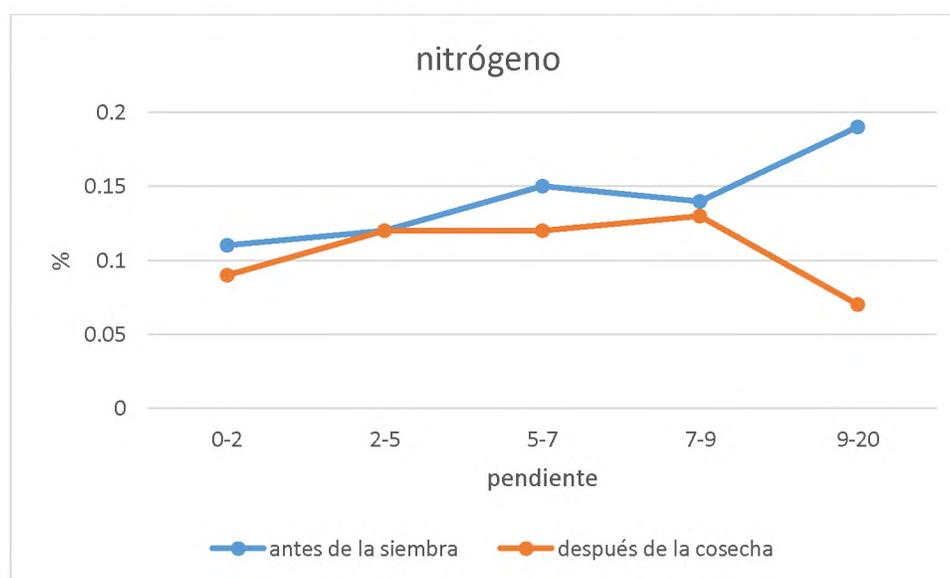


Fuente: Elaboración propia.

Los análisis de macronutrientes; nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), para las muestras representativas de los microrelieves son de utilidad para comprender la salud y estado del suelo.

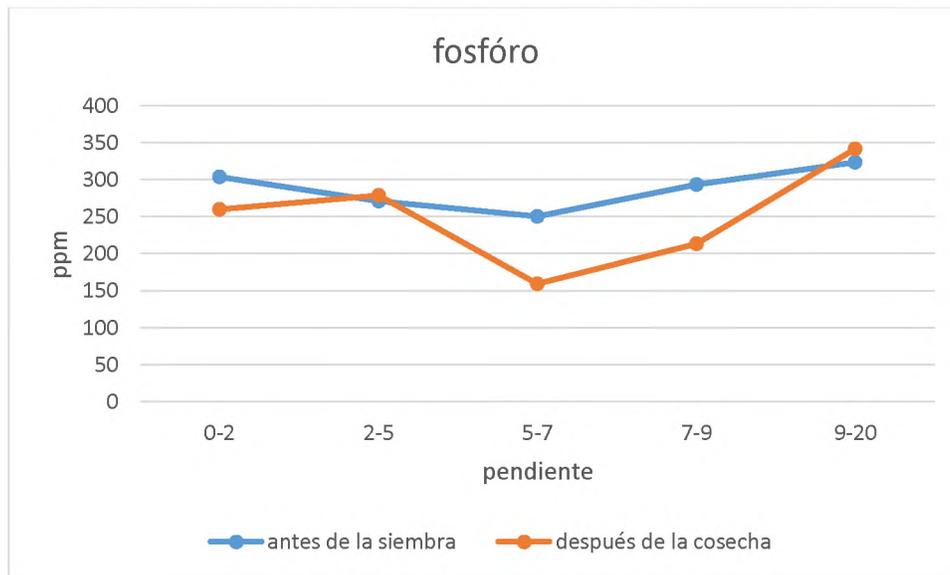
La lixiviación derivada de las fuertes y frecuentes precipitaciones que ocurrieron durante el ciclo agrícola de la papa es el resultado de la translocación de los macronutrientes, de ahí que los resultados de los análisis después de la cosecha arrojen la disminución de la mayoría de los niveles de NPK. Así mismo, se constató que el microrelieve no intervino en la disminución de los macronutrientes, porque el comportamiento antes de la siembra y después de la cosecha del tubérculo resulto relativamente igual, por ende al microrelieve con la pendiente más pronunciada no le corresponden los niveles más bajos de NPK.

Grafica 9. Nitrógeno antes y después de la cosecha por microrelieve



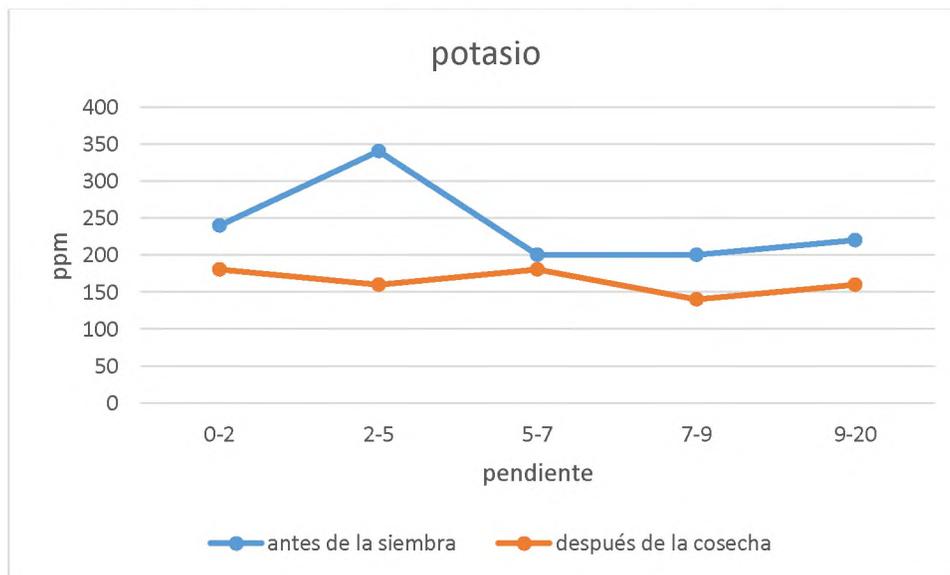
Fuente: Elaboración propia.

Grafica 10. Fósforo antes y después de la cosecha por microrelieve



Fuente: Elaboración propia.

Grafica 11. Potasio antes y después de la cosecha por microrelieve



Fuente: Elaboración propia.

En contraste los niveles de nitrógeno y fósforo de la parcela de maíz son ricos, mientras que el contenido de potasio es bajo.

El monocultivo de papa tiene algunas diferencias en sus propiedades físicas y químicas comparándolo con el cultivo de maíz, ya que la materia orgánica es mayor, la densidad real es menor, la densidad aparente es relativamente igual, y el porcentaje de espacio poroso es menor.

Como parte adicional de este trabajo se hace una comparación con el estudio de la microcuenca del río Bobo, en Colombia, donde se realizó un estudio antes, durante y después del ciclo agrícola de forma similar al de nuestro estudio, sin embargo en el estudio de referencia se compararon dos parcelas sembradas con papa y con rotación de pastos, una sembrada durante 5 años y otra durante 25, para determinar si a causa del uso de suelo y del sistema guachado se afectan algunas propiedades físico-químicas del suelo. En el caso de nuestro estudio la densidad aparente está entre 0.9 y 1.0, mientras que en el caso de estudio en la parcela sembrada con papa y pastos su valor de DA es de 0.52 y para la parcela de 5 años su DA es de 0.58, como podemos ver la parcela sembrada por más de 40 años tiene un valor de DA más alto ya que a lo largo del tiempo la labranza aumenta el peso por unidad de volumen, pero cabe resaltar que aun así los valores de DA para las tres parcelas están dentro del rango óptimo para el tipo de suelo (en ambos casos andosol) y para el crecimiento de cultivos. La porosidad de la parcela la porosidad para la parcela de 40 años oscila entre 54.5 y 49.6%, mientras que para la parcela de 25 años es de 74.9% y para la parcela de 5 años de 73% valores que s al igual que en nuestro caso está en un rango óptimo.

Para el caso del pH en ambos estudios los valores son ácidos, pero dichos valores son propios para cultivar papa, aunque a lo largo del tiempo el suelo se va tornando más ácido, puesto que en la parcela sembrada durante 5 años el pH es de 5.3, en la de 25 años es de 4.8 y en la de nuestro caso su valor más bajo de acidez es de 4.7, como vemos la acidez aumenta por la labor al suelo, al favorecer la mineralización de la materia orgánica. En cuanto a la materia orgánica, de igual forma disminuye en periodos prolongados ya que en nuestro caso de estudio la m.o es de 3.2, para la parcela de 25 años es de 3.5 y para la parcela de 5 años es de 10%, los valores en las parcelas sembradas por periodos prolongados son de m.o media, aunque dichos valores de éstas dos parcelas para ser suelos andosoles son valores medianamente altos.

Y por último el fosforo en la parcela sembrada durante 25 años, tiene valores altos y en este caso de estudio(parcela sembrada con papa por más de 40 años), muy altos, que se atribuye a los efectos residuales de los fertilizantes aplicados, siendo más notorio a lo largo del tiempo. En ambos casos la disturbación del suelo mediante las prácticas agrícolas, en especial la labranza, presentan un efecto notorio sobre las propiedades físicas y químicas del suelo, y aunque son diferentes zonas y diferente manejo, la unidad edáfica es igual, y a lo largo del tiempo las propiedades físicas y químicas son afectadas.

La división por microrelieves en la parcela de papa no influencio en la dinámica de los macronutrientes, no existe pérdida de humedad como se esperaba y las variaciones que pudieran existir en la materia orgánica, el pH, la densidad real y aparente son mínimas al termino del ciclo agrícola, por ende la estructura no ha cambiado, el drenaje es bueno, la retención de agua es buena al igual que la penetrabilidad de raíces, de ahí que el dueño de la parcela de papa al no verse

afectado en la producción del tubérculo continúe ejerciendo las prácticas agrícolas que hasta el día de hoy le han resultado redituables durante los más de 40 años que tiene practicando el monocultivo.

Sin embargo hay cierta degradación al suelo que puede ir aumentando al remover el suelo por el laboreo, lo que nos daría un escenario con mala estructura del suelo y por lo tanto mala retención de humedad, de igual forma esta propiedad se vería afectada al eliminar la materia orgánica cuando se “barbecha”, y recordemos que el suelo es un sumidero de carbono, ese carbono está secuestrado de forma natural, regresarlo a la atmosfera implica otros problemas ambientales, como lo es el aumento de GEI.

Recomendaciones

Sería conveniente hacer estudios de nitritos y nitratos en el agua subterránea de la zona papera ya que la cantidad de estos elementos al finalizar los ciclos agrícola aún es muy alta de acuerdo a ICAMEX; así como la de erodabilidad de suelo, ya que la zona papera se encuentra en pendientes que por las características del cultivo se produce una alta erodabilidad como lo muestra el perfil, al encontrarse este decapitado, la erosión es un factor que a lo largo del tiempo aumenta la degradación del suelo.

En los sistemas tradicionales de producción de papa se puede reducir el riesgo de erosión del suelo y filtración de nitratos utilizando la técnica de cultivo de plantas para rastrojo, que consiste en sembrar cultivos antes de la siembra de papa para proteger el suelo. La conservación del suelo puede incrementarse con una técnica básica de la agricultura de conservación, el cultivo sin labranza. Para ello, la papa se coloca en el suelo y se cubre con una capa gruesa de rastrojo, que es razonablemente estable y no se pudre con rapidez.

Utilizando de referencia el estudio de la microcuenca del río Bobo se recomienda realizar estudios que sigan la misma metodología que éste, es decir, comparar dos parcelas con diferentes años de siembra prolongada para determinar si a lo largo del tiempo las afectaciones son más notables, así mismo que en ambas parcelas se haga un estudio antes, durante y después del ciclo agrícola, con la finalidad de presenciar que labores afectan más al recurso suelo.

Además el agricultor puede apoyar sus actividades beneficiosas:

- Manteniendo una buena aireación, retención del agua y un buen drenaje
- Mantener un pH óptimo
- Proporcionar cierta cantidad de materia orgánica
- Seleccionar una semilla que tenga buenos rendimientos

- Mantener una buena densidad de plantas
- Una adecuada selección de fertilizantes, con dosis, y métodos de aplicación correctos
- Manejo integral de plagas
- Adopción de prácticas de manejo adecuadas

ANEXOS

Tabla 1. Datos ambientales y morfológicos.

localización	Localidad: Ojo de Agua, Municipio de Zinacantepec.								
	coordenadas:	x: 420172.00 mE			y: 2125198.00 mN				
clima	tipo:	temp: 18 °C	prec: 0						
	época seca:	humedad excesiva:	frecuencia	duración					
	estado del tiempo actual	soleado despejado	parcialmente nublado	nublado	Lluvioso	granizo	Nieve		
	estado del tiempo pasado	sin lluvia en ultimas 24 hrs	última semana	último mes	lluvias ligeras 24 hrs	muy lluvioso			
uso de suelo y vegetación	uso actual	Urbano	industrial	turístico	vegetación primaria	vegetación secundaria	Excavación	mina	
		agricultura de riego	Agricultura de temporal						
	condición actual	bosque primario	B. Secundario	deforestado	Arado	irrigado	compactado	rellenado	
		quemado	pastoreado						
	tipo de vegetación	manglar	popal	tular	Pastizal	zacatonal	Matorral	mezquital	
		selva alta	selva media	bosque caducifolio	bosque de encino	bosque de pino	bosque de pino-encino	bosque de pino	
bosque de oyamel		otro: sin vegetación							
descripción del relieve	exposición	N	N-E	E	S	SO	O	NO	plano
	pendiente	Casi plano (0-2%)	Ligeramente inclinado (2-4 %)	Mod inclinado (4-9%)	Fuertemente inclinado (9-18%)	Escarpado moderado (18-27%)	Escarpado (27-36%)	Muy escarpado (>36%)	
	morfología general	sierra	montaña	volcán	Cerro	lomerío	Altiplano	planicie	
		meseta	valle intermontano	valle					
	geoforma local	abanico aluvial	Ciénega	cráter	Duna	llanura de inundación	Meandro	montículo	
		loma	pie de monte	planicie (de inundación-inclinada-denudativa-aluvial-lacustre)	planicie con lomeríos	lomeríos	llanura costera	pantano	
otro									
unidad de relieve	superficie cumbrial	hombro de ladera	ladera:	Cóncava	convexa	extendida	compleja		
	ondulada	pie de ladera	fondo de valle						

evidencias de erosión	evaluación	sin erosión	Ligeramente inclinado (2-4 %)	moderada	Severa	extremo			
	tipo	a)hidrica:	laminar	por surcos	Cárcavas	túneles	mov en masa	b)eólica	
		depósitos de arena	sales						
efecto	perdida del horizonte superficial	<25%	25-75%	>75%	pérdida total				
material parental	depósitos	aluvión	coluvión	lacustre	Eólico	ceniza volcánica	piroclástico	pomex	roca consolidada
	roca ígnea	granito	riolita	diorita	Andesita	gabro	basalto	peridotita	
	roca sedimentaria detrítica	lutita	limolita	arenisca	Brecha	conglomerado			
	roca sedimentaria química	calcita	dolomita	evaporita	Travertino	yeso	otra		
	roca metamórfica	a)foliada:	pizarra	filita	Esquisto	gneis	b)no foliada	mármol	cuarcita
drenaje superficial	excesivo	bueno	moderado	deficiente	muy deficiente				
pedregosidad superficial	tamaño	pequeño	mediano	grande	muy grande				
	tipo	gravas finas	medias	gruesas	Piedras	cantos rodados	finos	medios	gruesos
		fragmento de roca	lapilli	bombas y bloques					
cobertura	0-2%	2-5%	5-15%	15-40%	40-80%	>80%			
escostramiento	grosor	ninguno	<2 mm	2-5mm	5-20mm	>20mm			
	consistencia	ligeramente duro	duro	muy duro	extremadamente duro				
grietas superficiales	ancho	<1cm	1-2 cm	2-5 cm	5-10 cm	>10 cm			
	profundidad	<2 cm	2-10 cm	10-20 cm	>20 cm				
presencia de sales	cobertura	Ninguna (0-2%)	Bajo (2-15%)	Moderado (15-40%)	Alto (40-80%)	Dominante (>80%)			
	espesor	ninguno	delgado (<2mm)	medio (2-5 mm)	grueso (5-20 mm)	muy grueso (>20mm)			
conductividad hidráulica en superficie	método de campo	cm/hora							
tipo de	Mull	(Of)	Ah	Modér	(Of)	Oh	Ah		
	Mor	L	Of	Oh	(Ah)				
comentarios									

Fuente: Elaboración propia con base en Siebe y otros (2004).

Tabla 2. Datos morfológicos

DESCRIPTOR: LORENA CASTILLO ZEPEDA Y GUADALUPE CORRAL; PERFIL 1, OJO DE AGUA. FECHA: 02 DE MARZO DE 2015.		
HOR	PROF	DATOS MORFOLOGICOS
Ap	0-15	<p>Color: café rojizo en húmedo.</p> <p>Textura: arena- areno francoso- franco arenoso- franco arcilloso arenoso-franco limoso-limosa- franco arcilloso-franco- limoso- arcilloso arenoso- arcilloso limoso- arcilloso.</p> <p>Consistencia: <i>En seco:</i> suelto- suave- ligeramente duro- duro- muy duro- ext. Duro. <i>En húmedo:</i> suelto- muy friable- friable- firme- muy firme. <i>Adhesividad:</i> no adherente- lige adherente- adherente- muy adherente. <i>Plasticidad:</i> no plástico- lige plástico- plástico- muy plástico.</p> <p>Humedad actual: muy seco- seco- levemente húmedo- húmedo- saturado- muy mojado.</p> <p>Estructura: granula- migajón- bloques subangulares- bloques angulares- laminar-prismática- masiva- terrones.</p> <p><i>Tamaño:</i> fino (5-10 mm)- medio (10-20 mm) – grueso (20-50mm) - muy grueso (>50mm). <i>Desarrollo:</i> débil- moderado-fuerte- muy fuerte.</p> <p>Pedregosidad: ninguna- pocos (0-2%) – comunes (5-15%)- muchos (15-40%)- abundantes (40-80%)- dominante (>80%).</p> <p><i>Clasificación:</i> gravas finas (2-6mm)- medias (6-20mm)- gruesas (20-60mm)- piedras (60- 200mm)- cantos (200-600 mm)- cantos grandes (>600m).</p> <p><i>Forma:</i> planos- angular- subredondeado- redondeado. <i>Intemperismo:</i> fresco- intemperizado- fuertemente intemperizado.</p> <p>Porosidad: <i>tipo:</i> intersticial- vesicular-canales. <i>Tamaño:</i> finos (0.5 -2mm)- medios (2-5mm)- gruesos (5-20mm)</p> <p><i>Abundancia (2mm):</i> ninguno- muy pocos (1-2)- pocos (2-5)- comunes (5-20)- muchos (>20)</p> <p>Raíces: <i>tamaño:</i> finas (<2mm)- medias (2-5mm)- gruesas (>5). <i>Abundancia:</i> ninguna- pocas (1-2)- comunes (5-20)- muchas (>20).</p> <p>Rasgos pedológicos: a) revestimientos b) cementación c) nódulos d) afloramiento de sales e) oxido-reducción f) superficies de deslizamiento g) aluminio activo. Descripción:</p> <p>Estabilidad de agregados: muy alta- alta- mediana- moderada-baja- muy baja.</p> <p>Densidad aparente: <i>valor g/cm³</i> Evaluación: alta-mediana-baja</p> <p>Límite: a) <i>Distinción:</i> abrupto (0-2 cm)- claro (2-5 cm)- gradual (5-15 cm) – difuso >15. B) <i>Topografía:</i> suave- ondulado – irregular – fracturado</p> <p>Moteados: <i>Color:</i> <i>Abundancia:</i> pocos – comunes – muchos – abundantes <i>Tamaño:</i> finos (2- 6mm) – medios (6-20mm) – gruesos (>20mm)</p> <p>Contenido de carbonatos: no hay reacción – ligera – moderada – fuerte – muy fuerte</p> <p>Salinidad: sin exceso de sales (0-4 dS/m) - ligeramente salinos (4-8 dS/m) – moderadamente salinos (8-16 dS/m) – fuertemente salinos (>16 dS/m)</p> <p>pH: penetrabilidad (kg/cm²)</p>

		comentarios:
A12	15-35	<p>Color: café rojizo en húmedo</p> <p>Textura: arena- areno francoso- franco arenoso- franco arcilloso arenoso-franco limoso-limosa- franco arcilloso-franco- limoso- arcilloso arenoso- arcilloso limoso- arcilloso.</p> <p>Consistencia: <i>En seco:</i> suelto- suave- ligeramente duro- duro- muy duro- ext. Duro. <i>En húmedo:</i> suelto- muy friable- friable- firme- muy firme. <i>Adhesividad:</i> no adherente- lige adherente- adherente- muy adherente. <i>Plasticidad:</i> no plástico- lige plástico- plástico- muy plástico.</p> <p>Humedad actual: muy seco- seco- levemente húmedo- húmedo- saturado- muy mojado.</p> <p>Estructura: granula- migajón- bloques subangulares- bloques angulares- laminar-prismática- masiva- terrones.</p> <p><i>Tamaño:</i> fino (5-10 mm)- medio (10-20 mm) – grueso (20-50mm) - muy grueso (>50mm). <i>Desarrollo:</i> débil- moderado-fuerte- muy fuerte.</p> <p>Pedregosidad: ninguna- pocos (0-2%) – comunes (5-15%)- muchos (15-40%)- abundantes (40-80%)- dominante (>80%).</p> <p><i>Clasificación:</i> gravas finas (2-6mm)- medias (6-20mm)- gruesas (20-60mm)- piedras (60- 200mm)- cantos (200-600 mm)- cantos grandes (>600m).</p> <p><i>Forma:</i> planos- angular- subredondeado-redondeado. <i>Intemperismo:</i> fresco- intemperizado- fuertemente intemperizado.</p> <p>Porosidad: <i>tipo:</i> intersticial- vesicular-canales. <i>Tamaño:</i> finos (0.5 -2mm)- medios (2-5mm)- gruesos (5-20mm)</p> <p><i>Abundancia (2mm):</i> ninguno- muy pocos (1-2)- pocos (2-5)- comunes (5-20)- muchos (>20)</p> <p>Raíces: <i>tamaño:</i> finas (<2mm)- medias (2-5mm)- gruesas (>5). <i>Abundancia:</i> ninguna- pocas (1-2)- comunes (5-20)- muchas (>20).</p> <p>Rasgos pedológicos: a) revestimientos b) cementación c) nódulos d) afloramiento de sales e) oxido-reducción f) superficies de deslizamiento g) aluminio activo. Descripción:</p> <p>Estabilidad de agregados: muy alta- alta- mediana- moderada-baja- muy baja.</p> <p>Densidad aparente: valor g/cm^3 Evaluación: alta-mediana-baja</p> <p>Límite: a) <i>Distinción:</i> abrupto (0-2 cm)- claro (2-5 cm)- gradual (5-15 cm) – difuso >15. B) <i>Topografía:</i> suave- ondulado – irregular – fracturado</p> <p>Moteados: <i>Color:</i> Abundancia: pocos – comunes – muchos – abundantes <i>Tamaño:</i> finos (2- 6mm) – medios (6-20mm) – gruesos (>20mm)</p> <p>Contenido de carbonatos: no hay reacción – ligera – moderada – fuerte – muy fuerte</p> <p>Salinidad: sin exceso de sales (0-4 dS/m) - ligeramente salinos (4-8 dS/m) – moderadamente salinos (8-16 dS/m) – fuertemente salinos (>16 dS/m)</p> <p>pH: penetrabilidad (kg/cm^2)</p> <p>comentarios:</p>
CA	35-50	<p>Color:</p> <p>Textura: arena- areno francoso- franco arenoso- franco arcilloso arenoso-franco limoso-limosa- franco arcilloso-franco- limoso- arcilloso arenoso- arcilloso limoso- arcilloso.</p>
Roca pumicita		

		<p>Consistencia: <i>En seco:</i> suelto- suave- ligeramente duro- duro- muy duro- ext. Duro. <i>En húmedo:</i> suelto- muy friable- friable- firme- muy firme. <i>Adhesividad:</i> no adherente- lige adherente- adherente- muy adherente. <i>Plasticidad:</i> no plástico- lige plástico- plástico- muy plástico.</p> <p>Humedad actual: muy seco- seco- levemente húmedo- húmedo- saturado- muy mojado.</p> <p>Estructura: granula- migajón- bloques subangulares- bloques angulares- laminar-prismática- masiva- terrones.</p> <p><i>Tamaño:</i> fino (5-10 mm)- medio (10-20 mm) – grueso (20-50mm) - muy grueso (>50mm). <i>Desarrollo:</i> débil- moderado-fuerte- muy fuerte.</p> <p>Pedregosidad: ninguna- pocos (0-2%) – comunes (5-15%)- muchos (15-40%)- abundantes (40-80%)- dominante (>80%).</p> <p><i>Clasificación:</i> gravas finas (2-6mm)- medias (6-20mm)- gruesas (20-60mm)- pedras (60- 200mm)- cantos (200-600 mm)- cantos grandes (>600m).</p> <p><i>Forma:</i> planos- angular- subredondeado-redondeado. <i>Intemperismo:</i> fresco- intemperizado- fuertemente intemperizado.</p> <p>Porosidad: <i>tipo:</i> intersticial- vesicular-canales. <i>Tamaño:</i> finos (0.5 -2mm)- medios (2-5mm)- gruesos (5-20mm)</p> <p><i>Abundancia</i> (2mm): ninguno- muy pocos (1-2)- pocos (2-5)- comunes (5-20)- muchos (>20)</p> <p>Raíces: <i>tamaño:</i> finas (<2mm)- medias (2-5mm)- gruesas (>5). <i>Abundancia:</i> ninguna- pocas (1-2)- comunes (5-20)- muchas (>20).</p> <p>Rasgos pedológicos: a) revestimientos b) cementación c) nódulos d) afloramiento de sales e) oxido-reducción f) superficies de deslizamiento g) aluminio activo. Descripción:</p> <p>Estabilidad de agregados: muy alta- alta- mediana- moderada-baja- muy baja.</p> <p>Densidad aparente: <i>valor g/cm³</i> Evaluación: alta-mediana-baja</p> <p>Límite: a) <i>Distinción:</i> abrupto (0-2 cm)- claro (2-5 cm)- gradual (5-15 cm) – difuso >15. B) <i>Topografía:</i> suave- ondulado – irregular – fracturado</p> <p>Moteados: <i>Color:</i> <i>Abundancia:</i> pocos – comunes – muchos – abundantes <i>Tamaño:</i> finos (2- 6mm) – medios (6-20mm) – gruesos (>20mm)</p> <p>Contenido de carbonatos: no hay reacción – ligera – moderada – fuerte – muy fuerte</p> <p>Salinidad: sin exceso de sales (0-4 dS/m) - ligeramente salinos (4-8 dS/m) – moderadamente salinos (8-16 dS/m) – fuertemente salinos (>16 dS/m)</p> <p>pH: penetrabilidad (kg/cm²)</p> <p>comentarios:</p>
2A11	50-90	<p>Color: rojizo café oscuro</p> <p>Textura: arena- areno francoso- franco arenoso- franco arcilloso arenoso-franco limoso-limosa- franco arcilloso-franco- limoso- arcilloso arenoso- arcilloso limoso- arcilloso.</p> <p>Consistencia: <i>En seco:</i> suelto- suave- ligeramente duro- duro- muy duro- ext. Duro. <i>En húmedo:</i> suelto- muy friable- friable- firme- muy firme. <i>Adhesividad:</i> no adherente- lige adherente- adherente- muy adherente. <i>Plasticidad:</i> no plástico- lige plástico- plástico- muy plástico.</p> <p>Humedad actual: muy seco- seco- levemente húmedo- húmedo- saturado- muy mojado.</p>

	<p>Estructura: granula- migajón- bloques subangulares- bloques angulares- laminar-prismática- masiva- terrones.</p> <p><i>Tamaño:</i> fino (5-10 mm)- medio (10-20 mm) – grueso (20-50mm) - muy grueso (>50mm). <i>Desarrollo:</i> débil- moderado-fuerte- muy fuerte.</p> <p>Pedregosidad: ninguna- pocos (0-2%) – comunes (5-15%)- muchos (15-40%)- abundantes (40-80%)- dominante (>80%).</p> <p><i>Clasificación:</i> gravas finas (2-6mm)- medias (6-20mm)- gruesas (20-60mm)- piedras (60- 200mm)- cantos (200-600 mm)- cantos grandes (>600m).</p> <p><i>Forma:</i> planos- angular- subredondeado-redondeado. <i>Intemperismo:</i> fresco- intemperizado- fuertemente intemperizado.</p> <p>Porosidad: <i>tipo:</i> intersticial- vesicular-canales. <i>Tamaño:</i> finos (0.5 -2mm)- medios (2-5mm)- gruesos (5-20mm)</p> <p><i>Abundancia</i> (2mm): ninguno- muy pocos (1-2)- pocos (2-5)- comunes (5-20)- muchos (>20)</p> <p>Raíces: <i>tamaño:</i> finas (<2mm)- medias (2-5mm)- gruesas (>5). <i>Abundancia:</i> ninguna- pocas (1-2)- comunes (5-20)- muchas (>20).</p> <p>Rasgos pedológicos: a) revestimientos b) cementación c) nódulos d) afloramiento de sales e) oxido-reducción f) superficies de deslizamiento g) aluminio activo. Descripción:</p> <p>Estabilidad de agregados: muy alta- alta- mediana- moderada-baja- muy baja.</p> <p>Densidad aparente: <i>valor g/cm³</i> Evaluación: alta-mediana-baja</p> <p>Límite: a) <i>Distinción:</i> abrupto (0-2 cm)- claro (2-5 cm)- gradual (5-15 cm) – difuso >15. B) <i>Topografía:</i> suave- ondulado – irregular – fracturado</p> <p>Moteados: <i>Color:</i> <i>Abundancia:</i> pocos – comunes – muchos – abundantes <i>Tamaño:</i> finos (2- 6mm) – medios (6-20mm) – gruesos (>20mm)</p> <p>Contenido de carbonatos: no hay reacción – ligera – moderada – fuerte – muy fuerte</p> <p>Salinidad: sin exceso de sales (0-4 dS/m) - ligeramente salinos (4-8 dS/m) – moderadamente salinos (8-16 dS/m) – fuertemente salinos (>16 dS/m)</p> <p>pH: penetrabilidad (kg/cm²)</p> <p>comentarios:</p>
--	---

Elaboración propia con base en “Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo” de (Siebe et al., 2006).

LITERATURA CITADA

Anon, 2008: "Manual para la producción de la papa", Honduras: EDA.

Arnold, M y Osorio, F. 1998. Introducción a los conceptos básicos de la teoría general de sistemas Cinta moebio 3: 40-49 www.moebio.uchile.cl/03/frprinci.htm

Bautista et al., 2004: "La calidad de suelos y sus indicadores" en *Ecosistemas* 1132-6344, España: Asociación Española de Ecología Terrestre.

Blum, W.E.H. and Santelises, A.A. (1994) a concept of sustainability and resilience based on soil functions: the role of ISSS in promoting sustainable land use. In: Greenland, D.J. and Szabolcs, I. (eds.) *Soil Resilience and Sustainable Land Use*. CAB International, Wallingford, UK, pp. 535-542.

Campos et al. 2000. Estimación de alofano y su relación con otros parámetros químicos en andisoles de montaña del volcán Cofre de Perote. [En línea]. Fecha de consulta: 1 de junio de 2016. Disponible en: <http://www.google.com.mx/search?site=&oq=alofanos&aqs=mobile-gws-lite.1.0l5&q=alofanos+en+el+suelo>

C. Carliet et al., 2014: "Effect of different irrigation regimes on yield, water use efficiency and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.) in the lowlands of Tashkent, Uzbekistan: A field and modeling perspective" *Elsevier*, Pages 90–99, Asia.

CONABIO, 2009 "Solanum tuberosum" en *Sistema de Información de Organismos Vivos Modificados (SIOVM)*.

Cruz et al., 2012: "Efectos en las características edáficas de un bosque templado por el cambio de uso de suelo" en *Terra Latinoamericana* 1870-9982, México: Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.

Egúsquiza, 2000: "*La papa. Producción, transformación y comercialización*", [en línea]. Universidad Nacional Agraria Molina. Disponible en: <http://books.google.com.mx/books?id=6ciGbBX0uFwC&pg=PA18&dq=.+Funciones+fundamentales+de+las+estructuras+a%C3%A9reas+y+subterr%C3%A1neas+de+la+papa&hl=es&sa=X&ei=SfJ8VLzyBJP3yQTck4HgBQ&ved=0CBsQ6AEwAA#v=onepage&q=.%20Funciones%20fundamentales%20de%20las%20estructuras%20a%C3%A9reas%20y%20subterr%C3%A1neas%20de%20la%20papa&f=false>.

FAO, 2008: La papa y la conservación del suelo. [En línea], [fecha de consulta: 01 de enero de 2015]. Disponible en: <http://www.fao.org/potato-2008/pdf/IYP-8es.pdf>

FAO, 2008. Propiedades del suelo. [En línea]. [Fecha de consulta: 17 de mayo de 2015]. Disponible en: ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6706s/x6706s06.htm

FEDEPAPA. FEDERACION COLOMBIANA DE PRODUCTORES DE PAPA, 2010. Cultivo de papa. [En línea], [fecha de consulta: 16 de mayo de 2015]. Disponible en: http://www.fedepapa.com/?page_id=401.

Fernández P., 1997. "Crecimiento y fertilización de la papa". Estación experimental carillanca. Temuco-Chile. Boletín técnico N° 33, 47p.

Fortunati et al., 1994. "soil sampling". Fresenius J. Anal. Chem., 348: 86-100.

Garcia, J et al. 2003. "El agua del suelo". Facultad de Agronomía y Zootecnia. Universidad Nacional de Tucumán. [En línea]. [Fecha de consulta: 28 de febrero de 2016]. Disponible en: <http://www.edafologia.com.ar/Descargas/Cartillas/Agua%20del%20Suelo%20X.pdf>

Glanz, 1995; Sojka y Upchurch, 1999. *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Soil Science Society of America, Inc. Special Publication. Number 35. Madison, Wisconsin, USA.

Henríquez C., et al., 1998 "la fertilidad de suelos: manual de laboratorio". Asociación costarricense de la ciencia del suelo. Costa Rica.

Hernández, Marta, et al., (2010)."Metodología de la investigación". 5ta edición, PDF, [En línea]. [Fecha de consulta: 28 de febrero de 2016]. Disponible en: https://www.esup.edu.pe/descargas/dep_investigacion/Metodologia%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%205ta%20Edici%C3%B3n.pdf

Huarte y Capezio, 2013. Cultivo de papa INTA. Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México, Papa de temporal [en línea]: [fecha de consulta: 20/08/2015]. Disponible en: http://portal2.edomex.gob.mx/icamex/investigacion_publicaciones/horticola/papa/index.htm

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, 2000. Manual para la producción de papa en las sierras y valles altos del centro e México, libro técnico número 1.

IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma.

Jordan, A. 2005. Manual de edafología. El suelo como ente vivo. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola de la Universidad de Sevilla". [En línea]. [Fecha de consulta: 20 de febrero de 2016]. Disponible en: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/30157/AVA/2014/Unidad_1/manual_De_Edafologia-Jordan.pdf.

Martínez, 1999. Modelo para evaluar la calidad de las tierras: caso del cultivo de papa. Suelos, fertilización y manejo de aguas. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Meza et al., 2003: "Estructura, agregación y porosidad en suelos forestales y cultivados de origen volcánico del Cofre de Perote" en *Foresta Veracruzana* 1405-7247, México: Recursos Genéticos Forestales.

Miralles, 2012: "Calidad de suelos en ambientes Calizos mediterráneos: Parque Natural de Sierra María-Los Vélez. Granada: Universidad de Granada.

Muñoz et al., 2006: "Variabilidad espacial de propiedades edáficas y su relación con el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) En *Agronomía Colombiana* 0120-9965, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Ordóñez, E. 2007: "Efecto del sistema guachado (wachay) y uso del suelo sobre algunas propiedades físicas en la microcuenca del río Bobo, departamento de Nariño.

Plan Municipal de Desarrollo Urbano. Zinacantepec. 2015. [En línea]. [Fecha de consulta: 20 de febrero de 2016]. Disponible en: <http://legislacion.edomex.gob.mx/sites/legislacion.edomex.gob.mx/files/files/pdf/gct/2015/jul246.pdf>

Porta et al., 1994: "*Edafología para la agricultura y el medio ambiente*", Madrid: ed. Mundi Prensa.

Prieto et al., 2013: "Indicadores e índices de la calidad de los suelos (ICS) cebaderos del sur del estado de Hidalgo, México" en *Agronomía Mesoamericana* 1021-7444, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.

Rubio, O. 2011. Situación del cultivo de papa en México. INIFAP.

Sabbagh et al., 2011: "Comportamiento del consumo de papa (*Solanum Tuberosum* L.) fresca en México" en *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2007-0934, México: Instituto Nacional de Investigadores Forestales.

SEMARNAT. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.

Siebe et al., 2006: "*Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo*" 2ª. Edición, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México.

Sifuentes, et al., 2013: "Nutrición del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) Considerando variabilidad climática en el Valle del Fuerte Sinaloa, México" en *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2007-0934, México: Instituto Nacional de Investigadores Forestales.

USDA. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Claves para la taxonomía de suelos. 1998. [En línea]. [Fecha de consulta: 20 de febrero de 2016]. Disponible en: http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051546.pdf.

Villarreal et al., 2013: "Índice de calidad del suelo en áreas cultivadas con Banano en Panamá" en *Agronomía Mesoamericana* 1021-7444, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.

Westermann y Davis, 1992. "Potato nutritional management changes and challenges into the next century". *American Potato Journal*. Vol. 69, 753-767 p.