

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

INGENIERÍA AGROPECUARIA



TÍTULO A OBTENER:
INGENIERO AGROPECUARIO

**PROYECTO DE TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO
AGROPECUARIO.**

**EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DE SUELOS CON CULTIVO DE CAÑA
DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.) EN TRES PARROQUIAS DE LA PROVINCIA
DE PASTAZA**

AUTOR:

Tzerembo Pauchi Byron Gilberto

DIRECTOR:

Dr. Segundo Benedicto Valle Ramírez. PhD.

PASTAZA - ECUADOR.

2018

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Al presentar este trabajo de investigación titulado. “evaluación de la fertilidad de suelos con cultivo de caña de azúcar (*saccharum* spp.) En tres parroquias de la provincia de Pastaza”, como requisito previo para la obtención del Título de Tercer Nivel en la Universidad Estatal Amazónica, autorizo a la biblioteca de la Facultad, para que haga uso de este documento disponible para su lectura, según las normas de la Universidad. Estoy de acuerdo en que se realice cualquier copia de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica potencial. Sin perjuicio de ejercer mi derecho de autor, autorizo a la Universidad Estatal Amazónica la publicación de este trabajo de investigación o parte de ella.

.....

TZEREMBO PAUCHI BYRON GILBERTO

CI. 1600787202

**CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE
INVESTIGACIÓN**

Por medio del presente, Yo, Dr. Segundo Benedicto Valle Ramírez. PhD., con CI: 1600538894 certifico que el egresado Byron Gilberto Tzerembo Pauchi, realizó el Proyecto de Investigación y Desarrollo titulado: “evaluación de la fertilidad de suelos con cultivo de caña de azúcar (*saccharum* spp.) En tres parroquias de la provincia de Pastaza”, previo a la obtención del título de Ingeniero Agropecuario bajo mi supervisión.

.....
Dr. Segundo Benedicto Valle Ramírez. PhD.

DIRECTOR DE PROYECTO

INFORME DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN FINAL.

Título: EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DE SUELOS CON CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM SPP*) EN TRES PARROQUIAS DE LA PROVINCIA DE PASTAZA

Autor: Tzerembo Pauchi Byron Gilberto

Unidad de Titulación: Ingeniería Agropecuaria

Director del proyecto: Segundo Benedicto Valle Ramírez

Fecha: 14 de junio del 2018

Introducción y contexto de la investigación:

- El cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp*) es una actividad agrícola de relevancia económica que se extiende por distintas regiones agroecológicas. Cada una de ellas posee características fisiográficas, climáticas y edáficas particulares y otros factores limitantes complejos, lo que genera diferentes condiciones y aptitudes para el cultivo.

Cumplimiento de objetivos

- Si se cumplió todos los objetivos al 100% para poder evaluar el nivel de fertilidad de suelos con cultivo de caña de azúcar en tres parroquias de la Provincia de Pastaza

Objetivo general.

- Evaluar el nivel de fertilidad de suelos con cultivo de caña de azúcar en tres parroquias de la Provincia de Pastaza para elaborar un plan de fertilización para el cultivo.

Objetivo específico.

- Se determinó la fertilidad física y química de los suelos con cultivo de caña de azúcar en las parroquias Tarqui, Diez de Agosto y Puyo.
- Se elaboró un plan de fertilización en función de los resultados del análisis de fertilidad para cada una de las parroquias.

Principales resultados obtenidos

En el proyecto de investigación se ha determinado la fertilización de suelo con cultivo de caña de azúcar realizando los análisis desuelo en tres Parroquias de la Provincia de Pastaza con la finalidad de realizar un plan de fertilización para cada uno de las parroquias y fincas.

El estudiante Tzerembo Pauchi Byron Gilberto ha mostrado durante el desarrollo de la investigación una elevada dedicación y un alto grado de independencia, sirviendo como guía de los principales elementos a desarrollar en la investigación.

Se destacó la actividad curricular por su rendimiento académico, mostrado durante la investigación interés, motivación en el mismo, lo cual condujo a culminar de forma exitosa el trabajo, cumpliendo con las 400 horas establecidas en el Reglamento de Régimen Académico de la UEA.

La presentación final del trabajo cumple con las normas establecidas en la reglamentación institucional.

La redacción, ortografía, calidad de los gráficos, tablas y anexos es adecuada.

Sin otro particular.

Atentamente,

Dr. Segundo Benedicto Valle Ramírez PhD.

Ci. 1600538894

AVAL

Quien suscribe Dr. Segundo Benedicto Valle Ramírez. PhD, Docente de la Universidad Estatal Amazónica abaliza el Proyecto de investigación:

Título: EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DE SUELOS CON CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp*) EN TRES PARROQUIAS DE LA PROVINCIA DE PASTAZA

Autor: Byron Gilberto Tzerembo Pauchi

Certifico haber cumplido y acompañado el proceso de elaboración del Proyecto de Investigación y considero.

Cumple los lineamientos y orientaciones establecidas en la normativa vigente de la institución.

Por lo antes expuesto se avala el Proyecto de investigación para que sea presentado ante la Coordinación de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria como forma de titulación como Ingeniera Agropecuaria, y que dicha instancia considere el mismo a fin de que tramite lo que corresponda.

Para que a si conste, firmo la presente a los 14 días del mes de junio del 2018.

Atentamente,

Dr. Segundo Benedicto Valle Ramírez PhD.

Ci. 1600538894

**CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN
DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO**



Urkund Analysis Result

Analysed Document: EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DE SUELOS CON CULTIVO DE
CAÑA DE AZÚCAR.doc (D40245110)
Submitted: 6/18/2018 4:27:00 PM
Submitted By: svalle@uea.edu.ec
Significance: 5 %

Sources included in the report:

URCO TESIS JAÑA.docx (D25333229)
tesis JUAN ESPINOZA 26DIC.pdf (D24618154)
<https://www.scribd.com/document/379542378/HIBRIDOS>

Instances where selected sources appear:

7

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE
SUSTENTACIÓN**

El proyecto de investigación y desarrollo titulado evaluación de la fertilidad de suelos con cultivo de caña de azúcar (*saccharum* spp.) En tres parroquias de la provincia de Pastaza fue aprobado por los siguientes miembros del tribunal

.....

Dr. Carlos Bravo Medina. PhD.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

.....

Dr. Joel Rodríguez Guerra. PhD.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

.....

Dr. Reinaldo Alemán Pérez. PhD.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

El autor expresa sus agradecimientos a:

La Universidad Estatal Amazónica por permitirme desarrollar esta investigación con sus directivos y catedráticos, porque con paciencia y sabiduría me enseñaron que en la vida no hay límites para lograr nuestros objetivos.

Al director de la investigación: Dr. Segundo Benedicto Valle Ramírez. PhD.

El presente proyecto de investigación, es un esfuerzo en el cual participo una persona, proporcionándome ayudándome y dándome animo cada día para seguir adelante y cumplir mi objetivo, por ello fraternamente doy gracias y mi eterna gratitud

A los Miembros del Tribunal Examinador, por sus sugerencias y guía en la culminación de este proyecto de Grado.

A mis profesores, por impartir sus conocimientos y nos supieron guiar hasta el final de nuestras metas.

A todas aquellas personas que de una u otra forma me apoyaron directa e indirectamente.

DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y darme la vitalidad, inteligencia y sabiduría para seguir superándome en la vida.

A mis padres Gilberto Tzerembo y Angelita Pauchi, por contar con ellos y compartir con una familia maravillosa, siendo mí soporte para lograr mis objetivos en la vida.

A mi hija, la inspiración de mi existencia y el reflejo del deber cumplido.

A mi esposa Wendy Cuvi, por su fraternidad y a todas las personas que contribuyeron con su experiencia, afecto, estímulo en la culminación de mi carrera.

RESUMEN

Para evaluar la fertilidad se tomó en cuenta los objetivos plateados y se consideraron variables químicas como Nitrógeno total, fósforo, potasio, calcio, magnesio, pH y materia orgánica, y niveles de fertilidad de suelos con cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) en las Parroquias Tarqui, Puyo y Diez de Agosto. Para ello en cada parroquia se seleccionaron tres fincas con mayor superficie en producción. Para el muestreo de suelos en cada finca se trazó una diagonal imaginaria y sobre esta se estableció tres parcelas de diez metros cuadrados, las parcelas se trazaron al inicio, en el centro y al final de la diagonal; en cada parcela se procedió a tomar 5 submuestras (una en cada esquina y una en el centro) con lo cual se conformó una muestra compuesta. Se realizó la comparación entre parroquias de los principales parámetros evaluados (pH, N-total, Materia Orgánica, P, K, Ca, Mg, entre otros), mediante un análisis de varianza de clasificación simple y las diferencias entre medias se determinó mediante la prueba de Tukey ($P < 0,05$). De acuerdo con los resultados obtenidos de los parámetros químicos los valores bajos fueron pH que se relaciona con la acidez de los suelos de la amazonia. El fósforo es el nutriente limitante que afecta el rendimiento del cultivo de caña de azúcar por su baja disponibilidad en el suelo, por lo que se debe incorporar al suelo mediante fertilización en dosis de 126,01 y 139,79 kg. ha⁻¹.

Palabras clave: caña de azúcar, parroquias, fertilidad, muestras de suelo

ABSTRACT

To evaluate fertility, silver targets were taken into account and chemical variables were considered such as total nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, pH and organic matter, and fertility levels of soils with sugar cane cultivation (*Saccharum spp.*) in the Parquiquias Tarqui, Puyo and Diez de Agosto. To this end, in each parish, three farms with a larger production area were selected. For the soil sampling in each farm an imaginary diagonal was drawn and on this three parcels of ten square meters were established, the plots were drawn at the beginning, in the center and at the end of the diagonal; in each plot we proceeded to take 5 sub-samples (one in each corner and one in the center) with which a composite sample was formed. A comparison was made between parishes of the main parameters evaluated (pH, N-total, Organic Matter, P, K, Ca, Mg, among others), by means of an analysis of variance of simple classification and the differences between means was determined by means of the Tukey test ($P < 0.05$). According to the results obtained from the chemical parameters, the low values were pH that is related to the acidity of the soils of the Amazon. Phosphorus is the limiting nutrient that affects the yield of sugar cane crops due to its low availability in the soil, so it must be incorporated into the soil by fertilization in doses of 126.01 and 139.79 kg. ha⁻¹.

Key words: sugarcane, parishes, fertility, soil samples

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO I	15
1. INTRODUCCIÓN	15
1.1. JUSTIFICACIÓN.....	16
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	17
1.4. OBJETIVOS	17
1.4.1. Objetivo general.....	17
1.4.2. Objetivos específicos.....	17
CAPÍTULO II	18
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
2.1. El suelo y su importancia para el cultivo de caña de azúcar	18
2.2. La fertilidad integral del suelo y parámetros para su evaluación	18
2.3. Manejo de la fertilidad en el cultivo de caña de azúcar.....	19
2.4. Fertilización combinada de N, P, K.....	22
CAPÍTULO III	23
3. Metodología de la investigación.	23
3.1. Localización	23
3.1.2. Tipo de investigación.....	24
3.1.3. Diseño de la investigación	24
3.1.4. Métodos de Investigación	25
3.1.5. Selección de fincas y muestreo de campo	25
3.1.6. Interpretación de resultados.	26
CAPÍTULO IV.	27
4. Resultados	27
4.1. Análisis de parámetros químicos del suelo en tres parroquias.....	27
4.1.2. Determinación de niveles de nutrientes por hectárea de cultivo.....	34
CAPITULO V.	36
5. Conclusiones	36
5.1. Recomendaciones.....	36
CAPÍTULO VI	37
6. Bibliografía.....	37
CAPÍTULO VII	41

7. Anexos.....	41
Anexo 1. Reconocimiento de las fincas para su respectiva evaluación y toma de muestras.	41
Anexo 2 Materiales ara su respectiva toma de muestra en las tres Parroquias.....	41
Anexo 3 Procedimiento de la limpieza para la toma de muestras.....	42
Anexo 4. Procedimiento de la toma de muestras en las fincas con cultivo de caña de azúcar.	42
Anexo 5. Procedimiento para la homogeneidad del suelo y su llenado en una funda segura con un peso de 2 kg.	42
Anexo 6. Traslado y entrega de las muestras de suelo en el laboratorio de suelo de la Universidad Técnica de Ambato.....	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Niveles de fertilización para la variedad ECU-01.....	18
Tabla 2. Localización de las fincas muestreadas por parroquia a través del GPS.....	20
Tabla 3. Disponibilidad de nutrientes por hectárea en las fincas evaluadas.....	30
Tabla 4. Contenido de Nitrógeno, Fosforo y Potasio en el suelo, requerimiento por la planta y cantidad de nutrientes a aplicar.....	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comportamiento de los contenidos de Nitrógeno Total en el agroecosistema de la caña de azúcar en las tres parroquias en estudio.....	23
Figura 2. Comportamiento de los contenidos de fosforo (P) en el agroecosistema de la caña de azúcar en las tres parroquias en estudio.....	24
Figura 3. Comportamiento de los contenidos de potasio (K) en el agroecosistema de la caña de azúcar en las tres parroquias en estudio.....	25
Figura 4. Comportamiento de los contenidos de calcio (Ca) en el agroecosistema de la caña de azúcar en las tres parroquias en estudio.....	26
Figura 5. Comportamiento de los contenidos de magnesio (Mg) en el agroecosistema de la caña de azúcar en las tres parroquias en estudio.....	27
Figura 6. Comportamiento del pH en el agroecosistema de la caña de azúcar en las tres parroquias en estudio.....	28
Figura 7. Comportamiento de los contenidos de materia orgánica en el agroecosistema de la caña de azúcar en las tres parroquias en estudio.....	29

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) es una actividad agrícola de relevancia económica que se extiende por distintas regiones agroecológicas. Cada una de ellas posee características fisiográficas, climáticas y edáficas particulares y otros factores limitantes complejos, lo que genera diferentes condiciones y aptitudes para el cultivo (Aguilar *et al.*, 2013).

Las distintas características y propiedades del recurso edáfico, son el sostén físico y químico de la agricultura cañera, pueden ser determinantes de potencial producción sin afectar los costos de producción, y ordenamiento territorial con fines de expansión de la frontera agrícola actual (Aguilar *et al.*, 2013).

Por lo que la interacción entre factores del suelo, un buen manejo de la fertilización y condiciones ambientales que influye sobre los requerimientos nutricionales, y por tanto en el desarrollo y los rendimientos de la caña. En consecuencia, es necesario determinar una nutrición balanceada del cultivo para permitir obtener una producción óptima a largo plazo (Salazar y Sánchez, 2013).

Según Salazar y Sánchez (2013) mencionan que los nutrientes más importantes para la producción de la caña de azúcar son, el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). En la zona baja del Río Guayas, estudios realizados por el Centro Investigación de Caña de Azúcar del Ecuador (CINCAE) y los ingenios azucareros La Troncal, San Carlos y Valdez, han demostrado que los nutrientes más limitantes son N y K. Sin embargo, elementos, tales como: azufre (S) y micro nutrientes como cinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe) y manganeso (Mn) que se están estudiando para detectar su efecto en la producción de caña de azúcar.

Para realizar un diagnóstico de la fertilidad del suelo y el estado nutricional de la planta, se debe recurrir a los análisis de suelos y foliares (hojas), siendo clave el muestreo para obtener una información confiable y, ejercer los correctivos sobre el manejo del suelo y la fertilización.

Los análisis de suelo es un medio rápido y económico que sirve de apoyo técnico para recomendar fertilizantes y enmiendas (CENICAÑA, 2015). Sin embargo, el suelo es heterogéneo en sus propiedades químicas con una variabilidad espacial y temporal muy grande por condiciones de origen, topografía, vegetación y manejo. Ante la imposibilidad de analizar toda el área de suelo de producción definida se recurre al muestreo el cual debe ser representativo de la unidad. Una muestra representativa

significa que una pequeña porción de tierra mezclada (1 kg) tomada del suelo en varios puntos y de igual tamaño (sub muestras) es capaz de reflejar las condiciones del área muestreada que tiene millones de kg de suelo. De esta manera el muestreo se convierte en el punto crítico del análisis de suelos (CENGICAÑA, 2017).

1.1. JUSTIFICACIÓN

Ecuador es una zona privilegiada para el cultivo de un sin número de productos, de los cuales se puede producir una infinidad de alimentos alternativos, este es el caso de la panela en bloque que tiene en el país más de 80 años de elaboración, y ha ido incrementando su demanda por la tendencia de la población tanto nacional como internacional en consumir alimentos 100 % naturales y nutritivos (Guerrón, 2013).

De esta forma la producción de la caña de azúcar y sus derivados presenta una gran alternativa de inversión debido a la diversidad de productos como son: azúcar, panela, melaza, bagazo, pulpa de papel, etanol, bioenergía, etc. Esto genera expectativa en el sector como fuente de producción tanto para el mercado nacional como para la exportación (Paucar & Robalino, 2009).

Se requiere producir nuevas variedades para responder a las necesidades de cosecha mecanizada, cultivares resistentes al volcamiento y aptas para la cosecha en verde que ayuda a evitar la contaminación ambiental que puede producir la quema. Para mantener un área similar de cultivo, se requiere de variedades que rindan mayores porcentajes de sacarosa, es decir moler menos toneladas y obtener más azúcar por unidad de superficie (Castillo & Silva, 2004).

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El cultivo de caña de azúcar constituye el principal rubro agrícola de la provincia de Pastaza del cual dependen muchas familias para el sustento diario. Sin embargo, en los últimos años los rendimientos han disminuido considerablemente debido a la presencia de plagas y a la pérdida de fertilidad de los suelos. Esto ha provocado que muchos productores abandonen este cultivo por la baja rentabilidad, que no permite cubrir los costos de producción y las áreas donde se dedicaba a este cultivo han sido sustituidas por cultivos de papa china, naranjilla, ají tabasco y otros.

La pérdida de fertilidad en este cultivo está relacionada principalmente por el manejo inadecuado de la fertilización. En la zona de estudio no existe una cultura de realizar

análisis de suelos por lo que se desconoce la disponibilidad de nutrientes que existe en el suelo y la cantidad que se debe suministrar al suelo en función del requerimiento del cultivo de caña de azúcar.

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

¿Los suelos con cultivos de caña de azúcar en las parroquias Tarqui, Puyo y Diez de Agosto no satisfacen las demandas nutricionales del cultivo de caña de azúcar y afectan su productividad?

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general.

- Evaluar el nivel de fertilidad de suelos con cultivo de caña de azúcar en tres parroquias de la Provincia de Pastaza mediante parámetros químicos.

1.4.2. Objetivos específicos.

- Determinar la fertilidad química de los suelos con cultivo de caña de azúcar en las parroquias Tarqui, Diez de Agosto y Puyo mediante parámetros químicos del suelo.
- Valorar el nivel de fertilidad en función de los resultados del análisis de suelo para cada una de las fincas evaluadas.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN.

2.1. El suelo y su importancia para el cultivo de caña de azúcar

La satisfacción de las necesidades alimentarias y nutricionales de la población depende cada vez más de los suelos, como factor básico para la producción de alimentos, lo que el incremento de siembra de cultivos cuyos productos son destinados a la exportación, obliga para ser efectivos y resolutivos a replantear los criterios tradicionales de desarrollo agrícola (Chaves y Araya, 2007).

Estos mismos autores señalan que esta realidad obliga a pensar en la necesidad de intensificar la producción de caña de azúcar por unidad de área, basado siempre en el óptimo aprovechamiento de los recursos disponibles, entre ellos, el suelo. Resulta para ello necesario e imperativo, recurrir al empleo de técnicas modernas y efectivas, asociadas al incremento de la productividad, la calidad, la inocuidad, la optimización de recursos basados en la maximización de beneficios y la minimización de los costos, la conservación y eliminación del impacto ambiental, todo integrado, ajustado y aplicado irrestrictamente dentro de los principios de la sostenibilidad.

Según Bastidas *et al.* (2011) la calidad del suelo es definida como la “capacidad de funcionar de un específico tipo de suelo”. En general es evaluada midiendo un grupo mínimo de datos de propiedades de éste para estimar su capacidad para realizar funciones básicas como mantener la productividad.

Las distintas características y propiedades del recurso edáfico, como el sostén físico y químico de la agricultura cañera, pueden ser determinantes potenciales productivos diferenciales, y afectar los costos de producción, ordenamiento territorial con fines de expansión de la frontera agrícola actual y conservación, en el contexto de cambio climático y variabilidad espacial (Rivera *et al.*, 2013).

2.2. La fertilidad integral del suelo y parámetros para su evaluación

El suelo es un recurso natural que ha proporcionado el sustento para la población humana; sin embargo, la creciente población mundial y su demanda de alimentos aumentan cada día más la presión sobre este recurso. En las zonas tropicales del mundo se buscan alternativas para conservar los suelos, pues se ha confirmado que no es el clima cálido lo que impide una producción adecuada de la tierra, sino el manejo inadecuado de estos (Sánchez *et al.*, 2011).

En el cultivo de caña de azúcar ocurren problemas como la pérdida de materia orgánica (MO) y la alta emisión de C que se da por la quema y requema de la caña para facilitar su cosecha e inicio de ciclo (Morales, 2011). Por otra parte, para conocer el estado nutricional del cultivo recomiendan realizar análisis de suelos y análisis foliares (Sánchez *et al.*, 2009).

2.3. Manejo de la fertilidad en el cultivo de caña de azúcar

En la Amazonía Ecuatoriana, la provincia de Pastaza, se cultivan alrededor de 927,05 ha del cultivar POJ93 (Limeña), comúnmente dedicado a la obtención de panela (granulada y bloques), miel, jugos, alcohol y caña de fruta, y es de especial relevancia para la Provincia por ser el principal rubro agrícola (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Pastaza ([GADPPz], 2011), entre los derivados con los mayores volúmenes de producción se encuentra la panela, obtenida por concentración del jugo de caña y comercializada en bloques de diferentes formas y tamaños. Este producto es la base del sustento de muchas familias campesinas, quienes producen en unidades de pequeña escala, con fuerza de trabajo familiar. Sin embargo, en los últimos años ha reducido su producción debido a la presencia de plagas y al deficiente manejo de la fertilización del cultivo.

Chaves (2017), señala que la dinámica del cultivo obliga a revisar de manera continua el tema nutricional en consideración de los profundos cambios que de manera consistente se dan en cuanto a variedades sembradas, desplazamiento de plantaciones comerciales por presión urbana a nuevas zonas y localidades de siembra

Al respecto Cabrera y Zuaznábar (2010), enfatizan que el manejo balanceado de nutrientes es esencial para alcanzar altos rendimientos y mejorar la eficiencia en su uso, lo que beneficia por igual a los agricultores, la sociedad y el ambiente. Además, se informa que entre el 30 y 50 % del rendimiento de los cultivos es atribuible a los nutrientes aplicados. El aumento razonable de la productividad en las áreas agrícolas actuales contribuye a la conservación de los hábitats de la vida silvestre, al reducir la presión para derivar más tierras a la agricultura.

Estos mismos autores señalan que la planta de caña como todo ser vivo requiere satisfacer sus procesos vitales para lo cual el agua, el aire, la luz y los minerales son esenciales para activar y operar sus mecanismos fisiológicos, generar energía, sintetizar enzimas, proteínas, carbohidratos, hormonas y otros componentes encargados de llevar a cabo su metabolismo con lo cual crece y se desarrolla. Cualquier obstrucción,

limitación o impedimento en los mismos se verá reflejado en los indicadores biométricos básicos de interés agro productivo, que en el caso de la caña serán el tonelaje de caña, la concentración de sacarosa y la cantidad de azúcar fabricada; así como también su condición fitosanitaria general Cabrera y Zuaznábar (2010)

Zúñiga (2016) refiere que los nutrientes son elementos compuestos inorgánicos simples que el cultivo necesita para su normal desarrollo. Estos nutrientes se pueden clasificar en dos grupos según las cantidades absorbidas por las plantas.

a) Macro nutrientes: N, P, K, Ca, Mg. y S.

b) Micro nutrientes: Zn, B, Fe, Mo, Cu, Mn y Cl.

El nitrógeno, fósforo y el potasio son los tres nutrientes que frecuentemente se encuentran en cantidades deficientes en la mayoría de los suelos y regularmente son aplicados en forma de fertilizantes. Tanto para sistemas intensivos como extensivos, las cantidades de N, P_2O_5 y K_2O difícilmente pueden obtenerse a partir de la fertilidad natural del suelo (Osorio, 2007).

Según Salazar *et al.* (2013a) el nitrógeno (N), fosforo (P) y potasio (K) son primordiales para aumentar la producción de caña y azúcar. Sin embargo, la fertilización de caña en Ecuador se ha limitado al uso del nitrógeno y potasio durante varios ciclos. El P en cambio es aplicado en forma de Fosfato Diamónico (DAP; 18-46-00) y Superfosfato Triple (SPT; 0-46-0) únicamente en caña planta.

Para la caña de azúcar, la dosis adecuada de Nitrógeno depende de un factor interno, determinado genéticamente por las exigencias de cada variedad, y numerosos factores externos, que influyen sobre la cantidad de este nutriente que queda a disposición de la planta y es aprovechado por ella (Cabrera y Zuaznábar, 2010).

En un estudio realizado en la costa ecuatoriana por Salazar *et al.* (2013b) la mayor respuesta de producción de caña y azúcar se encontró en el nivel de 141 kg/ha^{-1} de N, detectándose eficiencias agronómicas diferentes en cada localidad entre 160, 47 y 38 kg de caña adicional por cada kg de N aplicado. Además, el requerimiento de N por tonelada de caña fue entre 1.71, 1.34 y 0.77 kg de N para el ingenio Valdez, ECUDOS y San Carlos respectivamente, destacan que la producción de caña y azúcar de la bar. ECU-01 dependió del tipo de suelo, localidad, manejo del cultivo y condiciones climáticas. Al momento de la siembra aplicaron 35 kg N.ha^{-1} y el resto de N dividieron en dos partes, la primera fracción se realizó a los 45 días después de la siembra (dds) y la segunda se aplicó a los 90 dds y la fertilización con azufre realizaron conjuntamente con la primera fracción de N. Sin embargo, Zúñiga (2016), señala que la aplicación de

nitrógeno debe ser aplicado a los 30 días después de la siembra o después del corte, aunque mejores resultados se logran fraccionando a los 30 -60 y 120 días.

En cuanto al fósforo las plantas absorben la mayor parte de P como H_2PO_4^- y en menor proporción, como HPO_4^{2-} . De hecho, la absorción del primero es diez veces más rápida que la del segundo, aunque hay que tener en cuenta que en ello influye notablemente el pH del suelo (Berrocal *et al.*, 2009).

En un estudio realizado por Salazar *et al.* (2013a) determinaron que menos de 7 ppm de P en el suelo es bajo, entre 7 y 12 ppm el P es óptimo y mayor a 12 ppm de P es alto y por lo tanto no se requerirá fertilización fosfatada. Lo que demuestra que la fertilización de corrección de P se deberá realizar cuando un suelo tenga menos de 7 ppm de P.

Zúñiga (2016) señala que la dosis recomendada de P_2O_5 varía entre 0 y 0,15 kilogramos por hectárea en suelos de alto y muy alto contenido de fósforo asimilable, entre 15 y 35 kg/ha en los de categoría media y más de 35 kg en los de bajo y muy bajo contenido. Este elemento es esencial en los primeros meses de crecimiento, en especial durante la fase fenológica de formación de raíces y macollamiento.

Otros autores, Salazar y Sánchez (2013b) en los ingenios ECUDOS y Valdez, con una dosis de 30 kg/ha^{-1} de P_2O_5 tuvieron la más alta producción de caña y azúcar (120-140 Toneladas de caña por hectárea (TCH) y 15-17 Toneladas de azúcar por hectárea (TAH). La aplicación de fósforo debido a su baja movilidad, se aplica incorporándolo durante la siembra, en el surco cerca del área radical de la plantilla en el momento de la siembra con el fin de estimular el crecimiento radical. En la soca se aplica en banda conjuntamente con el nitrógeno a los 30 días del corte (Zúñiga, 2016).

En cuanto al K^+ es el nutrimento que la caña de azúcar necesita en mayor cantidad, debido a que interviene en los procesos de síntesis del azúcar y almidón, transporte de azúcares, síntesis de proteínas y estimulación enzimática (Pascual *et al.*, 2018).

En un estudio realizado por Salazar y Sánchez (2013b) la aplicación de 100 kg. Ha^{-1} de K_2O incremento 20% del tonelaje de caña y azúcar en el ingenio ECUDOS y 8 % en el Ingenio San Carlos. En Valdez el K^+ afectó solamente a la concentración de azúcar.

Únicamente, en el ingenio Valdez, el uso de la mezcla de micro elementos produjo un aumento de 2.1 TAH y 11 TCH comparado con el tratamiento sin la aplicación de micro elementos.

El potasio igual que el fósforo se aplica inmediatamente durante la siembra en el fondo del surco, en las socas se aplica con el nitrógeno a los 30 días después del corte.

2.4. Fertilización combinada de N, P, K.

De acuerdo con lo informado por Zúñiga (2016) los ensayos realizados por el CINCAE mediante la fertilización combinada con N, P y K en la producción y rendimiento de azúcar durante la segunda soca, observaron que el N en sus niveles más altos (180 kg/ha⁻¹), produjo los mejores efectos cuando se combinó con el P y K, en dosis de 80 y 90 kg/ha, respectivamente.

Tabla 1. Niveles de fertilización para la variedad ECU-01

Recomendación de N, P y K para la variedad ECU 01 en kg/ha.			
	N	P	K
Caña Planta	110 – 120	30 - 60	80 – 110
1 Zafra	120 - 150	60	110 - 150
2 Zafra	150 – 180	60	150
3 Zafra	180	60	150

Recomendación basado en estimado de 98.2 – 140 TCH y 9.1– 14 TAH

TCH: Toneladas de caña por hectárea; **TAH:** Toneladas de azúcar por hectárea.

Estas recomendaciones contrastan con las aplicaciones y respuestas de niveles de fertilización en caña planta y soca por el CINCAE en dos años de estudio (2010 y 2012) y Nivel Crítico del N para la variedad ECU-01, donde se realizaron aplicaciones en caña planta que fluctuaron de 90 – 150 Kg de N, con rendimientos de TAH de 8 a 14 TAH. Aplicaciones en caña soca a niveles de 150 – 180 Kg de N/Ha lograron mantener estable los promedios de TAH.

Por otra parte, una práctica muy conocida y aplicada en el mundo entero es el uso de estiércol de diversos animales para restituir los nutrientes al suelo. Estos tienen la ventaja de que además de restituir los elementos mayores, aportan otros que han sido exportados del campo con las cosechas y enriquecen el suelo con materia orgánica, tan necesaria para mantener su fertilidad (Noriega *et al.*, 2001)

CAPÍTULO III

3. Metodología de la investigación.

3.1. Localización

El área de estudio fueron las Parroquias Tarqui, Puyo y Diez de Agosto, de la Provincia de Pastaza.

Según Bravo *et al.* (2015) la temperatura anual promedio en la mayoría de la Provincia de Pastaza oscila entre 24 y 28 °C y una humedad relativa cercana al 80 %. Además, señalan que los suelos de la provincia de Pastaza pertenecen al orden Inceptisol (78,6 %), seguido por el Entisol, Histosol y Molisol en una pequeña proporción. Dicho orden, se muestra con dos subórdenes Andepts y Tropepts, en donde los Andepts se han desarrollado a partir de cenizas volcánicas; suelos bien drenados con alta retención de humedad y materia orgánica, pH generalmente ácido y fertilidad variable.

A continuación, se describe la ubicación y características climáticas de cada una de las parroquias:

Tarqui es una de las parroquias ubicada al norte con las Parroquias Puyo y Veracruz, al sur con la Parroquia Madre Tierra, al este con las parroquias Pomona y Madre Tierra, y al oeste con las parroquias Madre Tierra y Shell y cuenta con una extensión de 84 Km² donde el clima es cálido húmedo y la temperatura oscila entre los 18° C y 24° C (GADPPz, 2018).

Puyo está localizado con la parroquia Fátima, al sur con las parroquias Tarqui y Madre Terra, al Este con las parroquias Diez de Agosto y Veracruz, al Oeste con la parroquia Shell con una extensión de 104 Km² y un clima agradable, y oscila entre los 17° C y 24° C (GADPPz, 2018).

Diez de Agosto es una de las parroquias donde está ubicado al Norte Con la parroquia Fátima y el cantón Arajuno, al Sur Con las parroquias Veracruz y Canelos, al Este Con las parroquias Canelos y Curaray, y al Oeste Con las parroquias Fátima y Puyo donde la extensión es de la parroquia Diez de Agosto es de 85 Km² y su clima oscila entre los 19° C. y 25° C (GADPPz, 2018).

Tabla 2. Localización de las fincas muestreadas por parroquia a través del GPS.

PARROQUIA TARQUI	PARROQUIA PUYO	PARROQUIA 10 DE AGOSTO
Finca 1	Finca 1	Finca 1
Sr.: Alfredo López	Sr: Luis Torres	Sr: Fausto Flores
Altura: 925 msnm	Altura: 969 msnm	Altura: 1035 msnm
18M	17M	18M
Valor x: 0166449	Valor x: 0833768	Valor x: 0181837
Valor y: 9831019	Valor y: 9839573	Valor y: 9839866
Finca 2	Finca 2	Finca 2
Sr: José Andrade	Sr: Pastor Valverde	Sr: Lenin Castro
Altura: 930 msnm	Altura: 973 msnm	Altura: 906 msnm
18M	18M	18M
Valor x: 0832666	Valor x: 0168837	Valor x: 0179065
Valor y: 9830474	Valor y: 9839465	Valor y: 9837714
Finca 3	Finca 3	Finca 3
Sr.: Luis Caicedo	Sr.: Efraín Yucaylla	Sr: Ángel Gomes
Altura: 940 msnm	Altura: 974 msnm	Altura: 1008 msnm
17M	18M	18M
Valor x: 0831598	Valor x: 0169616	Valor x: 0175235
Valor y: 9830263	Valor y: 9839440	Valor y: 9838261

3.1.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación es descriptiva y explicativa, ya que se demuestra cuantitativamente una relación causa-efecto, de los niveles de fertilidad existentes en cada finca y parroquia.

3.1.3. Diseño de la investigación

El presente proyecto se llevó a cabo mediante un diseño experimental completamente aleatorizado (DCA), donde se seleccionó nueve fincas, con mayor superficie en producción de caña de azúcar ubicada en tres parroquias de Pastaza.

3.1.4. Métodos de Investigación

El método de investigación fue experimental en condiciones de campo y análisis de laboratorio donde se midió la causa y efecto a través de las variables independiente y dependiente respectivamente.

3.1.5. Selección de fincas y muestreo de campo

Se procedió a seleccionar tres fincas con mayor área de producción de caña de azúcar por cada parroquia. En cada finca para el muestreo de suelos se siguió la metodología de Salazar y Sánchez (2013a) y Bravo *et al.* (2017) que consiste en los siguientes pasos.

Para la toma de muestras se utilizó un esquema de muestreo sistemático modificado de Bravo *et al.* (2017), se estableció un transepto lineal de tres puntos de muestreo (P1, P3 y P5), por cada finca seleccionada; se realizó esta modificación del número de puntos de muestreo por el número de fincas (9) que se evaluó en este estudio. Luego en cada punto de muestreo se trazó una subparcela de un área de 10 x 10 m, en la cual se recolectó cinco submuestras de suelo a una profundidad de 20 cm para conformar la muestra compuesta por punto, donde se mezcló las cinco submuestras para obtener una muestra compuesta, este procedimiento se realizó en cada una de las subparcela (Fig. 1); se obtuvieron tres muestras compuestas por finca.

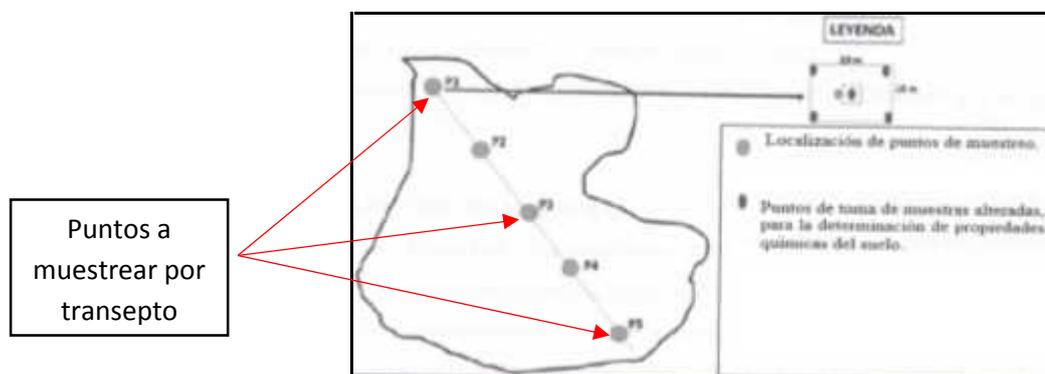


Figura 1. Esquema de muestreo sistemático para el estudio de suelo (Bravo *et al.*, 2017).

En cada punto de muestreo se limpió la superficie del sitio donde se tomó la submuestras de suelo. El muestreo se efectuó en la parte lateral del surco (talud) y en el centro del surco a una profundidad de 0-20 cm. Las muestras fueron tomadas con pala haciendo un hoyo en forma de “V” hasta 20 cm de profundidad, se tomó una tajada de 2 - 3 cm de espesor. Con un machete se eliminó los bordes y se seleccionó la parte central de la tajada (no mayor a 5 cm). En cada sitio de muestreo se repitió el mismo

procedimiento. Se depositó en un balde las submuestras de suelos, se mezcló homogéneamente y se tomó una muestra de 1 kg de suelo (muestra compuesta). Posteriormente, se colocó la muestra compuesta de cada lote en doble funda plástica con su respectiva identificación (propietario, provincia, cantón, parroquia, recinto o localidad, cantero o lote, fecha de muestreo, profundidad de muestreo, cultivo anterior sembrado) y se envió al laboratorio de suelos de la Universidad Técnica de Ambato.

Los métodos analíticos utilizados fueron los siguientes (Benaño, 2018 Comunicación personal):

PH -----Método electroquímico (PH/Conductímetro Orion 550A)

Fósforo----- Olsen modificado (Espectrofotómetro Genesys 20)

Potasio, calcio y magnesio ----Olsen modificado (Espectrofotómetro de A.A Perkin Elmer 100)

Micro elementos (Cu, Fe, Mn, Zn) ---Olsen modificado (Espectrofotómetro de A.A Perkin Elmer 100) (Berths, 1995).

Materia orgánica ----- Gravimétrico (Balanza Analítica) (Walkley and Black, 1934).

Textura ----- Método de Bouyoucos (Licuadora Bouyoucos)

3.1.6. Interpretación de resultados.

Una vez recolectados todos los datos, se elaboró una base de datos en Excel con todos los parámetros determinados por cada muestra por finca y por parroquia. Posteriormente, para explicar la variación de los diferentes parámetros químicos de la fertilidad del suelo por parroquia se realizó un análisis de varianza de clasificación simple y las diferencias entre medias se compararon mediante la prueba de Tukey ($P < 0,05$), usando el programa Infostat, versión 2017.

La interpretación de los valores de los principales parámetros se realizó mediante tablas de valores para determinar los niveles de bajo, medio y alto en los diferentes elementos químicos (INIAP, 1979) y mediante cálculos matemáticos se determinó la disponibilidad en kilogramos por hectárea de los principales nutrientes en el suelo y se calculó la cantidad de fertilizante que se requiere aplicar por cada finca (Bravo, 2018 Comunicación personal).

CAPÍTULO IV.

4. Resultados

4.1. Análisis de parámetros químicos del suelo en tres parroquias

En la figura 1, se muestra el comportamiento del Nitrógeno Total (ppm) en el suelo, este elemento fue significativamente superior en las parroquias Puyo (210,71 ppm) y Diez de Agosto (203,11 ppm) con respecto a la parroquia Tarqui (168,71 ppm). Estos valores son considerados altos según la interpretación emitida en el resultado de análisis de suelos.

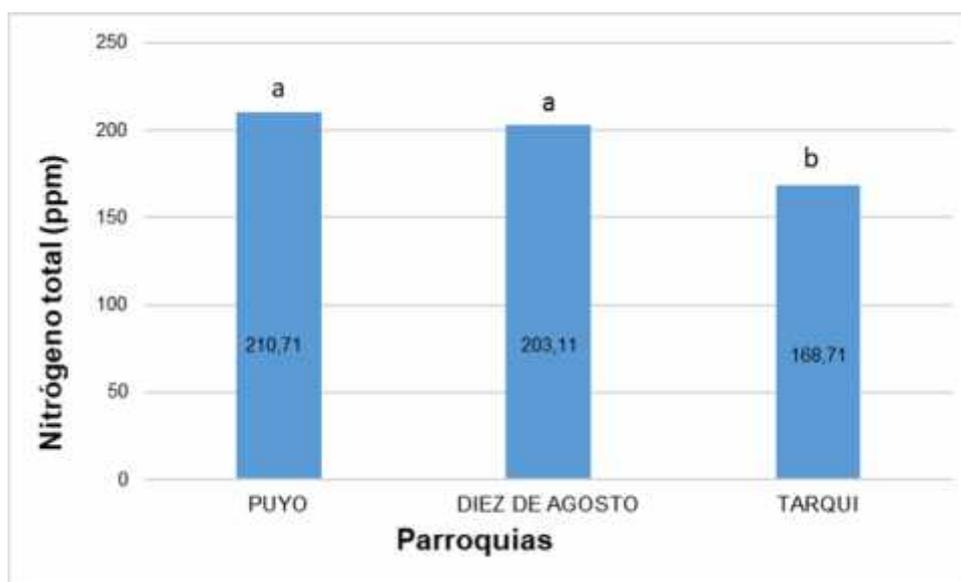


Figura 1. Comportamiento de los contenidos de Nitrógeno Total en el agroecosistema de la caña de azúcar en las tres parroquias en estudio

Oleas (2012) plantea que el nitrógeno es el nutriente que más influye en el rendimiento agrícola y el más utilizado en la caña de azúcar. La cantidad de nitrógeno que se emplea varía entre 1,0 y 1,5 kilogramos por Tonelada.ha⁻¹. Este elemento es esencial en el desarrollo del cultivo, ya que al ser asimilado por la planta pasa a formar las bases nitrogenadas, empleadas en las diferentes funciones de la misma, formando parte de los aminoácidos, proteínas, hormonas, ácidos nucleicos y la clorofila (Rizzo, 2011).

Por otro lado, Durini (2011), señala que la caña de azúcar debe tener suficiente nitrógeno durante los tres primeros meses del cultivo, ya que sus deficiencias en este periodo repercuten negativamente en la producción, es quizás el elemento más importante para el cultivo de la caña de azúcar dada las cantidades altas que se requiere

para su normal desarrollo, aumentando la producción de tallos molederas al incrementar el tamaño y número de hojas.

Según Zúñiga (2016) la dosis de nitrógeno en plantilla varía entre 40 y 140 kg de nitrógeno por hectárea, aunque con suelos bien drenados y con cantidades relativamente altas de materia orgánica no se han encontrado respuestas a las aplicaciones de nitrógeno en plantilla.

Con relación al comportamiento del fósforo (P) en el suelo (figura 2), se evidencia un mayor contenido del fósforo en la parroquia Tarqui (12,44 ppm) con respecto a la parroquia Puyo (6,44 ppm). Presentando diferencia significativa y no así con la parroquia Diez de Agosto (9,89 ppm)

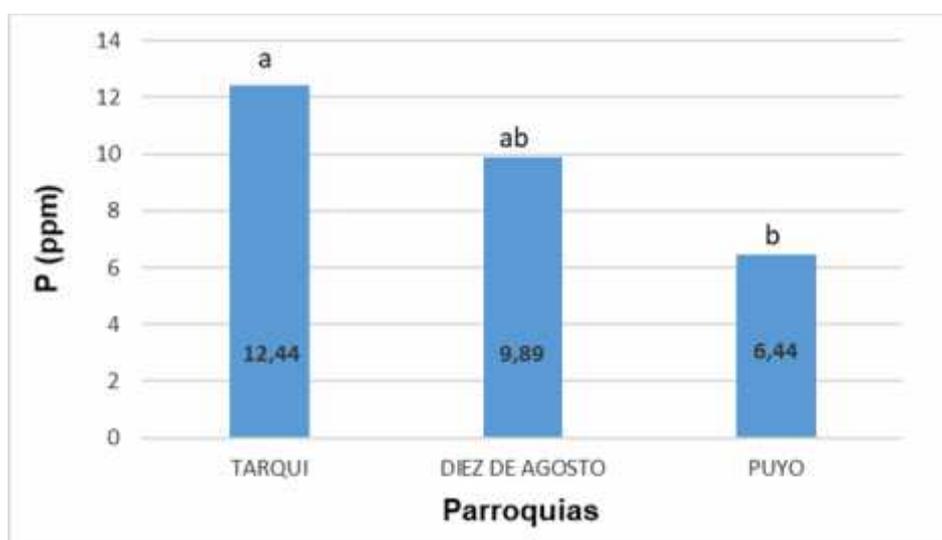


Figura 2. Comportamiento de los contenidos de fósforo (P) en el agroecosistema de la caña de azúcar en las tres parroquias en estudio

El contenido de P registrado en los suelos de la parroquia Tarqui de 12,44 ppm, se encuentra dentro del rango de 9-17 ppm, referido por Aguilar *et al.* (2013), quienes señalan que con estos valores se obtendrá una producción baja de caña de azúcar y plantean que, para lograr una alta producción, los valores óptimos de fósforo deben estar por encima de >40 ppm.

Este, elemento en los primeros meses de crecimiento, en especial durante la fase fenológica de formación de raíces y macollamiento, la caña de azúcar toma en mayor

cantidad la fracción inorgánica del fósforo en el suelo en forma de fosfato monovalente o divalente (H_2PO_2 y $H_2PO_4^-$), ayudando su asimilación en la aceleración de la maduración en la última fase de su ciclo (CINCAE, 2013).

En la figura 3, se muestra el comportamiento del potasio (K), donde los valores de K en las tres parroquias no presentaron diferencias significativas con valores que fluctuaron entre 0,22 y 0,27 meq.100g⁻¹.

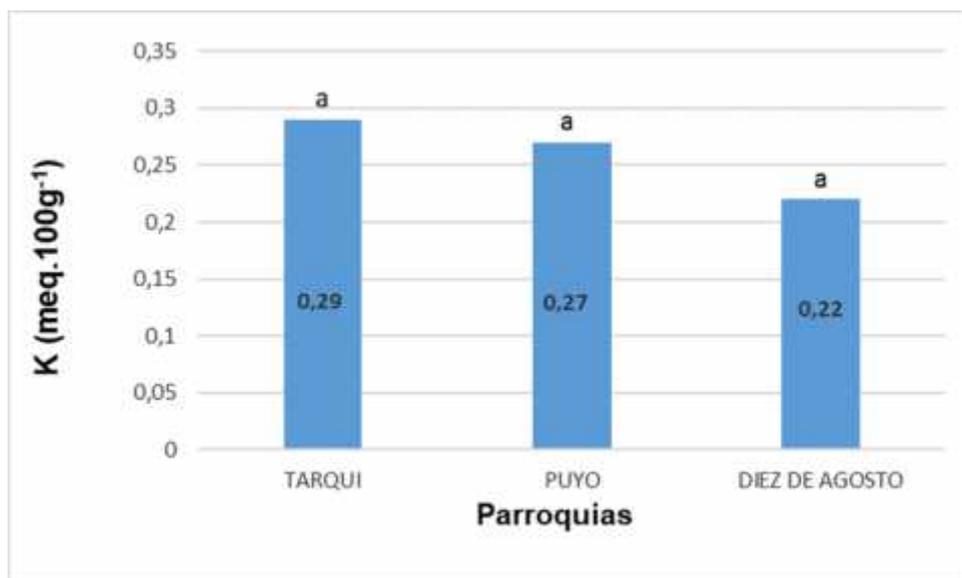


Figura 3. Comportamiento de los contenidos de potasio (K) en el agroecosistema de la caña de azúcar en las tres parroquias en estudio

Los valores de K disponibles en los suelos de las parroquias en estudio se encuentran por debajo de los valores reportados por Briones *et al.* (2013), quienes registraron valores de 0,5 y 2 meq.100g⁻¹ a una profundidad de 25 cm, en suelos con potencial de uso para la producción de caña de azúcar de la hacienda Campo Alegre, de la parroquia Taura, cantón naranjal, Provincia del Guayas.

De acuerdo con Pascual *et al.* (2018) el K es el nutrimento que la caña de azúcar necesita en mayor cantidad, debido a que interviene en los procesos de síntesis del azúcar y almidón, transporte de azúcares, síntesis de proteínas y estimulación enzimática. Por lo que en suelos donde existe deficiencia de K se ha observado mayor susceptibilidad al ataque de patógenos, así como una reducción en el contenido de azúcares (Eguiguren, 2013).

En la figura 4, se presenta el comportamiento del calcio (Ca) donde no hubo diferencias significativas entre parroquias en estudio. Los valores fluctuaron entre 1,67 y 2,67 meq.100g⁻¹, valores considerados como medios.

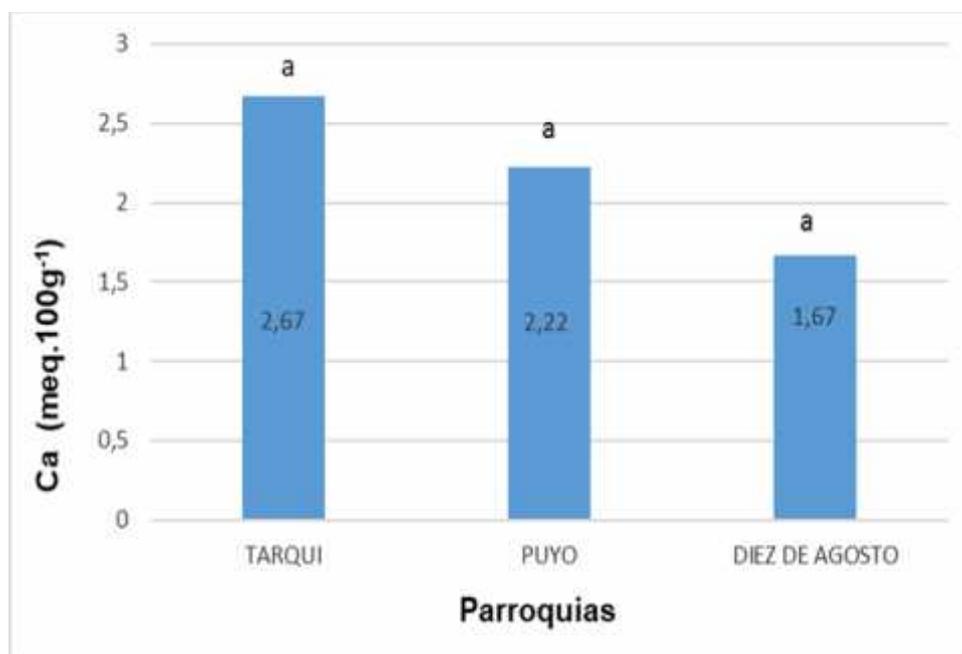


Figura 4. Comportamiento de los contenidos de calcio (Ca) en el agroecosistema de la caña de azúcar en las tres parroquias en estudio

Los valores de calcio disponibles en los suelos de las parroquias evaluadas se encuentran por encima de los reportados por Gonzales, Campero y Mercado (2016), quienes, al realizar el análisis de suelos con cultivo de caña de azúcar, determinaron valores de calcio de 1.10 meq.100g⁻¹.

En la figura 5, se muestra el comportamiento del magnesio, este elemento no presentó diferencias significativas entre las tres parroquias. Los valores fluctuaron entre 0,53 y 0,67 meq.100g⁻¹, valores considerados como medios.

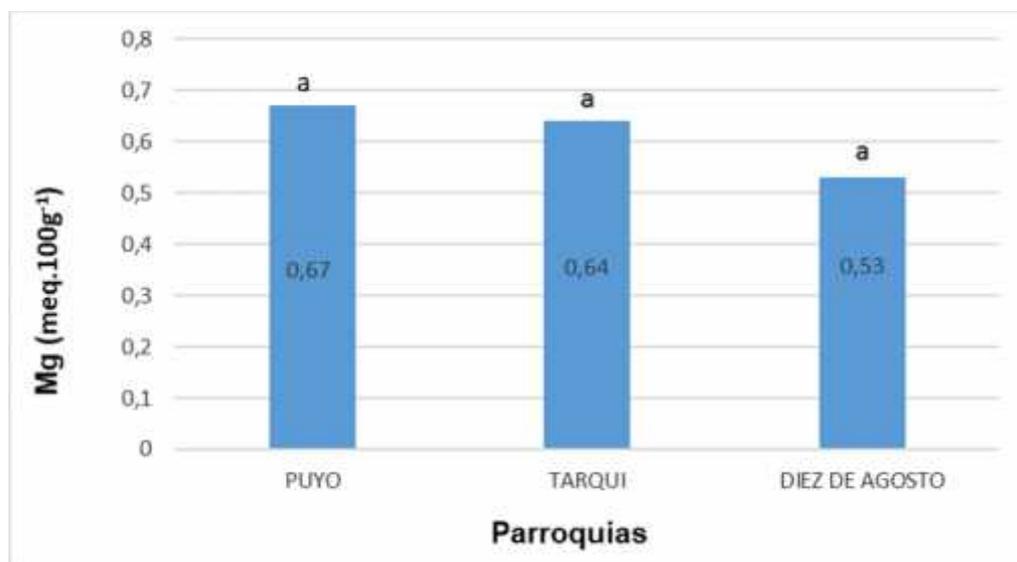


Figura 5. Comportamiento de los contenidos de magnesio (Mg) en el agroecosistema de la caña de azúcar en las tres parroquias en estudio

La disponibilidad de magnesio en el suelo con cultivo de caña de azúcar de las parroquias evaluadas se encuentra por encima del valor reportado por Gonzales, Campero y Mercado (2016), quienes, al realizar el análisis de suelos con cultivo de caña de azúcar, determinaron valores de magnesio de 0.01 meq.100g⁻¹, los cuales son muy bajos en relación a los de estudio.

Cakmak (2010), señala que existe un efecto positivo entre la cantidad de Mg que un cultivo absorbe y el crecimiento de la raíz y las partes aéreas de una planta. Además, demostró que la relación entre la parte aérea sobre las raíces aumenta en plantas con deficiencia (parte aérea/raíz), este efecto adverso se desarrolla mucho antes que se aprecie la clorosis en las hojas.

En la figura 6, se muestra el comportamiento del pH, el cual no presentó diferencias significativas entre parroquias en estudio. Los valores fluctuaron entre 4,87 y 5 considerado como ácido.

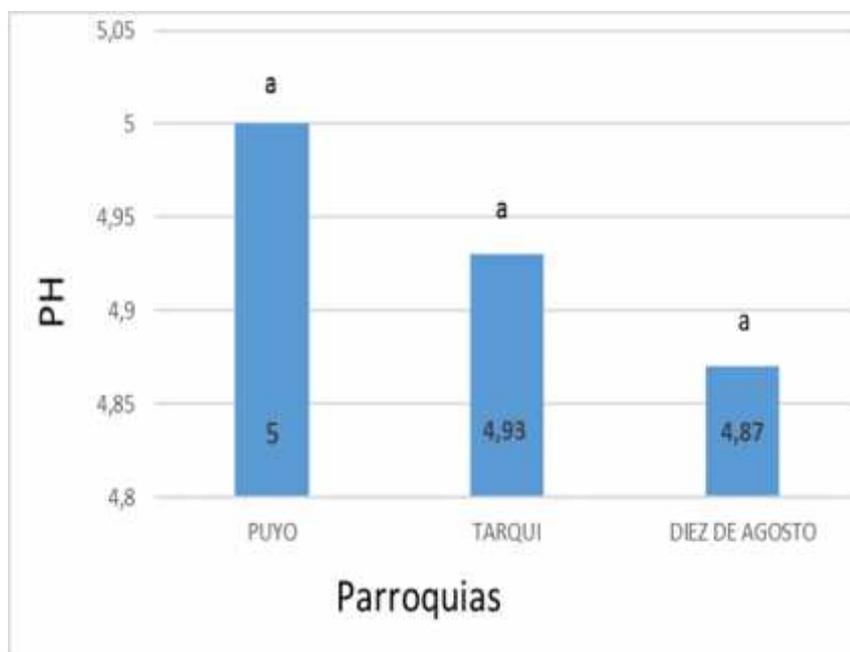


Figura 6. Comportamiento del pH en el agroecosistema de la caña de azúcar en las tres parroquias en estudio

La reacción del suelo o pH de éste afecta de modo significativo la disponibilidad y la asimilación de nutrientes y ejerce una fuerte influencia sobre la estructura del propio suelo. Además, la acidez o alcalinidad influyen directamente en la proliferación de muchos microorganismos del suelo.

Las especies y variedades vegetales muestran diferente susceptibilidad frente a distintos niveles de pH. Así, por ejemplo, las leguminosas que reciben nitrógeno desde la fijación simbiótica, son más sensibles que las que reciben nitrógeno inorgánico por fertilización. Por otra parte, en el caso de las especies gramíneas se ha estudiado que la reducción de la división celular de la raíz, y por consiguiente su crecimiento, es el proceso fisiológico que primero se afecta con bajos valores de pH. Martín y Pérez (2009).

En la figura 7, se evidencia el comportamiento de la Materia Orgánica (M.O.), este parámetro presentó un mayor contenido en las parroquias Puyo (28,11 %) y Diez de Agosto (27,08 %) no existiendo diferencia significativa entre las dos parroquias con relación a este parámetro. La parroquia Tarqui fue el de más bajo contenido de materia orgánica (22,5%) presentando diferencia significativa con la parroquias anteriores. Estos valores son considerados altos de acuerdo a la interpretación emitida en el resultado de suelos.

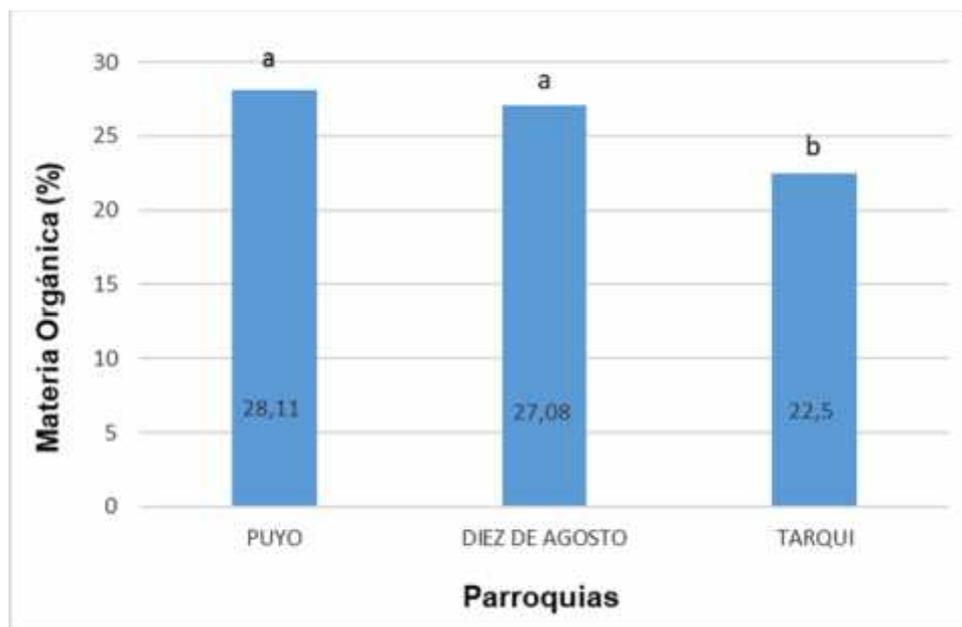


Figura 7. Comportamiento de los contenidos de materia orgánica en el agroecosistema de la caña de azúcar en las tres parroquias en estudio

En un estudio realizado por Gelasio *et al.* (2012), encontraron contenidos de M.O. de 2.1 y 3.2 % en suelos cultivados a profundidades de 0 a 20 cm, valores muy inferiores a los encontrados en las parroquias evaluadas. El contenido de materia orgánica es uno de los indicadores de la fertilidad de los suelos por lo que se considera importante mantener un contenido óptimo (5.0 %).

La materia orgánica es importante en suelos agrícolas porque mejora la productividad de los cultivos y es el mejor indicador de la calidad de un suelo; está formada por los componentes vivos, raíces, macro y microorganismos, constituye la fuente de energía y hábitat específico para la biomasa edáfica (Pascual *et al.*, 2018).

4.1.2. Determinación de niveles de nutrientes por hectárea de cultivo.

En la tabla 3, se presenta la disponibilidad de nutrientes en kilogramos por hectárea, por cada una de las fincas de los principales nutrientes químicos. El fósforo constituye el elemento químico más limitante para el cultivo de caña de azúcar.

Tabla 3. Disponibilidad de nutrientes por hectárea en las fincas evaluadas.

Propietario	N (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Ca (kg /ha)	Mg (kg /ha)
Efraín Yucaylla	260,10	13,81	210,60	1440,00	157,68
Pastor Valverde	254,43	10,80	189,54	360,00	123,12
Luis Torres	244,53	10,21	161,46	601,20	151,20
Luis Caicedo	198,63	22,19	231,66	1321,20	151,20
José Andrade	198,63	23,99	210,60	838,80	136,08
Alfredo López	210,33	21,01	161,46	720,00	129,60
Ángel Gómez	205,20	18,59	119,34	478,80	108,00
Lenin Castro	224,10	23,99	91,26	720,00	108,00
Fausto Flores	301,77	10,80	259,74	601,20	129,60

Los resultados obtenidos en el presente estudio coinciden con Martín y Pérez (2009), quienes también determinaron que el factor limitante es el fósforo al realizar la caracterización de suelos de cuatro sectores de la provincia de Pastaza.

En la tabla 3 se presenta el contenido de N, P y K, el requerimiento por el cultivo y la cantidad de nutriente a aplicar mediante fertilización. El nutriente que se debe aplicar es el fósforo (P) en cantidades que fluctúan entre 126,01 y 139,79 kg. ha⁻¹, en dependencia de la finca. Los demás nutrientes como Ca y Mg, se encuentran en una buena disponibilidad en el suelo que no requiere el suministro mediante fertilización.

Tabla 4. Contenido de Nitrógeno, Fósforo y Potasio en el suelo, requerimiento por la planta y cantidad de nutrientes a aplicar.

Propietario	Contenido en el suelo	Requerimiento del cultivo*	Cantidad de nutriente a aplicar	Contenido en el suelo	Requerimiento del cultivo*	Cantidad de nutriente a aplicar	Contenido en el suelo	Requerimiento del cultivo*	Cantidad de nutriente a aplicar
	(N) Kg.ha-1	(N) Kg.ha-1	(N) Kg.ha-1	(P) Kg.ha-1	(P) Kg.ha-1	(P) Kg.ha-1	(K) Kg.ha-1	(K) Kg.ha-1	(K) Kg.ha-1
Efraín Yucaylla	260,10	100,00	0,00	13,81	150,00	136,19	210,60	150,00	0,00
Pastor Verde	254,43	100,00	0,00	10,80	150,00	139,20	189,54	150,00	0,00
Luis Torres	244,53	100,00	0,00	10,21	150,00	139,79	161,46	150,00	0,00
Luis Caicedo	198,63	100,00	0,00	22,19	150,00	127,81	231,66	150,00	0,00
José Andrade	198,63	100,00	0,00	23,99	150,00	126,01	210,60	150,00	0,00
Alfredo López	210,33	100,00	0,00	21,01	150,00	128,99	161,46	150,00	0,00
Ángel Gómez	205,20	100,00	0,00	18,59	150,00	131,41	119,34	150,00	30,66
Lenín Castro	224,10	100,00	0,00	23,99	150,00	126,01	91,26	150,00	58,74
Fausto Flores	301,77	100,00	0,00	10,80	150,00	139,20	259,74	150,00	0,00

*Requerimiento de cultivo según (INIAP, 1979).

En el estudio realizado por Martín y Pérez (2009), también determinaron la necesidad de incorporar el fósforo y recomendaron que cuando se apliquen este nutriente, es necesario adicionar un poco de suelo al tronco de la planta para que el fertilizante no se pierda por lavado debido a las altas precipitaciones en la provincia.

Según el CINCAE (2014), la dosis recomendada de P₂O₅ varía entre 0 y 0.15 kg. ha⁻¹ en suelos de alto contenido de fósforo asimilable, entre 15 y 35 kg.ha⁻¹ en los de categoría media y más de 35 kg en los de bajo y muy bajo contenido.

En cuanto al N de acuerdo a los resultados no existe necesidad de aplicación, sin embargo, Salgado-García *et al.* (2009) plantea que las dosis de fertilización nitrogenadas para un rendimiento promedio alrededor de 80 t de tallos molederos, fluctúan entre 130 y 160 kg.ha⁻¹, valores dependientes principalmente de la unidad de suelo.

CAPITULO V.

5. Conclusiones

- Los suelos evaluados con cultivo de caña de azúcar de las fincas estudiadas presentan un pH ácido, con alto contenido de materia orgánica, Nitrógeno, Potasio, Calcio, Magnesio y bajo contenido de fosforo.
- De acuerdo con los resultados del análisis de suelo el fosforo es el nutriente limitante que afecta el rendimiento del cultivo de caña de azúcar por su baja disponibilidad en el suelo, por lo que se debe incorporar al suelo mediante fertilización en dosis de 126,01 y 139,79 kg. ha⁻¹.

5.1. Recomendaciones

- Con respecto a los análisis de suelo es importante que se inicie nuevos estudios que permitan abarcar la mayor cantidad de fincas productoras de caña de azúcar para conocer los niveles de fertilizantes de estos suelos.
- Se recomienda realizar unas buenas prácticas, como también una buena fertilización con incorporación de materia orgánica.

CAPÍTULO VI

6. Bibliografía

- Aguilar, B. (2013). UF0001: El suelo de cultivo y las condiciones climáticas. IC editorial. 1ª. Edición. Antequera. Málaga.
- Aguilar, N., Olvera, L., Galindo, G. (2013). Evaluación de aptitud de tierras al cultivo de caña de azúcar en la Huasteca potosina, México, por técnicas geomáticas. *Revista de Geografía Norte Grande*. 55: 141-156.
- Bastidas, G., Rea, R., Rodríguez, N., Ventura, J. (2011). Influencia del sistema radical sobre los indicadores de rendimiento en la caña de azúcar. *Multiciencia* 11(1):15-25.
- Berrocal, E., Durango, J. Barrera, J., Díaz, B. (2009). Evaluación de formas de fósforo en suelos cultivados con plátano. *Acta Agron.* 58(3):152-159.
- Bertsch, F. (1995). *La Fertilidad de los Suelos y su Manejo*. San José, Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 157 p.
- Bravo, C., Benítez, D., Vargas, J., Alemán, R., Torres, B., Marín, H. (2015). Caracterización socio-ambiental de unidades de producción agropecuaria en la Región Amazónica Ecuatoriana: Caso Pastaza y Napo. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*. 4(1):3-31.
- Bravo, C., Marín, H., Marrero, P., Ruiz, M., Torres, B., Navarrete, H., Durazno, G., Changoluisa, D., (2017). Evaluación de la sustentabilidad mediante indicadores en unidades de producción de la provincia de Napo, Amazonía Ecuatoriana. *Bioagro* 29(1): 23-36.
- Briones, C., Proaño J., Medina, K. (2010). Determinación de las aptitudes físicas y químicas en distintas unidades taxonómicas de suelos en la hacienda campo alegre (Quilichao), parroquia Taura, cantón Naranjal, provincia del Guayas. En: XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Santo Domingo, 17-19 de noviembre.
- Cabrera, J. y Zuaznábar, R. (2010). Respuesta de la caña de azúcar a la fertilización nitrogenada en un experimento de larga duración con 24 cosechas acumuladas. *Cultivos Tropicales* 31(1): 93-100.
- Cakmak, I. (2010). Magnesium: A Forgotten Element in Crop Production. *Better crops* 94(2): 23 25.

- Castillo, R., & Silva, E. (23 de Octubre de 2004). Fisiología, Floración y mejoramiento genético de la caña de azúcar en Ecuador. Obtenido de cincae.org: <http://cincae.org/wp-content/uploads/2013/05/fisologia-y-mejoramto.pdf>
- CENGICANA, (2017). Guía de Buenas Prácticas Agrícolas en Caña de Azúcar. Disponible en: <https://cengicana.org/files/20170425171748989.pdf>
- CENICANA. (2015). Análisis de suelos para recomendaciones de fertilización. Disponible en: http://www.cenicana.org/servicios/analisis_suelo.php
- Chaves, M. y Araya A. (2007). Caracterización preliminar de suelos Cultivados con caña de azúcar en la Zona norte de Costa Rica: Cantones de San Carlos y los Chiles. Liga agrícola industrial de la caña de azúcar. Costa Rica
- Chaves, M. (2017). Suelos, nutrición y fertilización de la caña de azúcar en Costa Rica. En: Seminario Internacional Producción y Optimización de la Sacarosa en el Proceso Agroindustrial, Puntarenas, Costa Rica, octubre 10 al 12.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de la Provincia de Pastaza (GADPPz). (2018). Descripción de las parroquias Tarqui, Puyo y Diez de Agosto. Disponible en: <http://www.pastaza.gob.ec/pastaza/10-de-agosto>.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de la Provincia de Pastaza. (2011). Plan de Desarrollo Agropecuario Local PDAL provincial de Pastaza. Pastaza, Ecuador: autor
- Gonzales, Y., Campero, J. P., Mercado, H. (2016). Evaluación del rendimiento agrícola e industrial de doce variedades de Caña de Azúcar en el Municipio de Minero, en tres cosechas consecutivas, sembradas a secano, suelo arenoso y fertilidad baja. Revista Científica de Investigación INFO-INIAF. 1(7): 40-46.
- Guerrón, F. (23 de Agosto de 2013). Panela en polvo, y su manejo agroindustrial en Ecuador. Obtenido de agronegocioecuador.ning.com: <http://agronegocioecuador.ning.com/page/panela-en-polvo-y-su-manejo>
- INIAP. (1979). Recomendaciones de Fertilización para los principales cultivos del Ecuador. Disponible en: <http://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/handle/41000/432/iniapscbt32.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- López, L. (2014). Evaluación de niveles de fósforo y potasio en el cultivo de caña de azúcar para producción de panela orgánica. Tesis de pregrado. Universidad Rafael Landívar, Guatemala.

- Martín, N. J., Pérez, G. (2009). Evaluación agro productiva de cuatro sectores de la provincia de Pastaza en la Amazonía ecuatoriana. *Cultivos Tropicales*. 30(1):5-10
- Morales, T. (2011). Impacto ambiental de la actividad azucarera y estrategias de mitigación. Monografía. Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Químicas. Veracruz, México. 72 p.
- Noriega, G. et al. (2001). Producción de abonos orgánicos y lombricultura. Universidad Autónoma de Chiapas. Huehuetan, Chiapas, México
- Osorio, G. (2007). Manual Técnico: Buenas Prácticas Agrícolas -BPA- y Buenas Prácticas de Manufactura -BPM-en la Producción de Caña y Panela. P. 200.
- Pascual-Córdova, G., Obrador-Olán, J., Carrillo-Ávila, E., García-López, E., Sánchez-Soto, S., Guerrero-Peña, A., Ortiz-García, C. (2018). Indicadores de calidad del suelo en el agroecosistema caña de azúcar (*Saccharum* spp.). *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*.35: 1-25.
- Paucar, J., & Robalino, J. (15 de Marzo de 2009). Escuela Pólitecnica Nacional. Recuperado el 17 de Mayo de 2016, de bibdigital.epn.edu.ec: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/8489/3/CD-2144.pdf>
- Rivera, N., Vargas, L. Galindo, G. (2013). Evaluación de aptitud de tierras al cultivo de caña de azúcar en la Huasteca potosina, México, por técnicas geomáticas. *Revista de Geografía Norte Grande*. 55: 141-156
- Salazar, M., Sánchez, M., Castro, D. (2013b). Respuesta de la variedad ecu-01 a niveles de N en suelos del orden Inceptisol y Vertisol. Disponible en: <http://cincae.org/wp-content/uploads/2013/07/Respuesta-ECU-01-al-N-.pdf>
- Salazar, M., Sánchez, M., Saltos, J. (2013a). Búsqueda de la dosis óptima de fósforo y evaluación del efecto actual y residual en la producción y rendimiento de caña de azúcar. Disponible en: <http://cincae.org/wp-content/uploads/2013/07/Art%C3%ADculo-P.pdf>
- Salazar, M., y Sánchez, M. (2013b). Producción de caña y azúcar de la variedad ECU-01 con la aplicación de N, P, K, S y una mezcla de micro elementos en caña planta. Disponible en: <http://cincae.org/wp-content/uploads/2013/07/Respuesta-ECU-01-N-P-K-S-micro.pdf>
- Salazar, M.y Sánchez, M. (2013a). Guía para el muestreo de suelos en caña de azúcar. Cincae. Ecuador.
- Salgado-García, S., D.J. Palma-López, J. Zavala C., L.C. Lagunes-Espinoza, M. Castelán E., C.F. Ortiz-García, J.F. Juárez L., O. Ruiz R., L. Armida A. y J.A.

- Rincón R. (2009). Sistema integrado para recomendar dosis de fertilizantes en caña de azúcar (SIRDF): Ingenio Presidente Benito Juárez. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Tabasco, México. 84 p.
- Sánchez, A., Cruz, J., Zérega, L., Rodríguez, O., Oliveira, S., Rodríguez, V. (2009). Normas preliminares DRIS desarrolladas para caña de azúcar a partir de un bajo número de muestras. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília.44 (12):1700-1706.
- Sánchez, S., Hernández, M., & Ruz, F. (2011). Alternativas de manejo de la fertilidad del suelo en ecosistemas agropecuarios. *Pastos y Forrajes*. 34(4): 375-392.
- Walkley, A., Black, A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 37:29-38.
- Zúñiga, P. (2016). Estudio de los rangos óptimos de disponibilidad en n, p, k para las nuevas variedades de caña de azúcar ecu-01 y ec-02 en suelos de la cuenca baja del Río Guayas. "Tesis de Maestría. Universidad de Guayaquil. Ecuador.

CAPÍTULO VII

7. Anexos



Anexo 1. Reconocimiento de las fincas para su respectiva evaluación y toma de muestras.



Anexo 2 Materiales para su respectiva toma de muestra en las tres parroquias



Anexo 3 Procedimiento de la limpieza para la toma de muestras.



Anexo 4. Procedimiento de la toma de muestras en las fincas con cultivo de caña de azúcar.



Anexo 5. Procedimiento para la homogeneidad del suelo y su llenado en una funda segura con un peso de 2 kg.



Anexo 6. Traslado y entrega de las muestras de suelo en el laboratorio de suelo de la Universidad Técnica de Ambato