

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE AGRONOMÍA



TESIS

**RELACIÓN ENTRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO Y LA
DIVERSIDAD DE LAS PLANTAS ARVENSES Y EL
RENDIMIENTO DE *Theobroma cacao* L. EN EL VALLE DEL
BOLSÓN INKA CUCHARA – HUÁNUCO.**

Para obtener el título profesional de

INGENIERO AGRÓNOMO

Elaborado por

LIZBELY ERMITH PALACIOS TRUJILLO

Tingo María – Perú

2020



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María
FACULTAD DE AGRONOMÍA



Carretera Central Km 1.21 Telf. (062) 562341, (062) 561136, Fax. (062) 561156 E.mail: fagro@unas.edu.pe

"Año de la universalización de la salud"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 014 - 2020-FA-UNAS

BACHILLER : Lizbely Ermith PALACIOS TRUJILLO

TÍTULO : Relación entre las propiedades del suelo con la diversidad de las plantas arvenses y el rendimiento de *Theobroma cacao* L. en el valle del Bolsón Inka Cuchara, Huánuco

JURADO CALIFICADOR

PRESIDENTE : Miguel Eduardo Anteparra Paredes
VOCAL : Jaime Joseph Chávez Matías
VOCAL : Luís Germán Mansilla Minaya

ASESOR : Hugo Alfredo Huamaní Yupanqui

FECHA DE SUSTENTACIÓN : 29 de octubre del 2020

HORA DE SUSTENTACIÓN : 11:00 a.m.

LUGAR DE SUSTENTACIÓN : Sala Virtual de la Facultad de Agronomía

<https://teams.microsoft.com/join/19%3a030ece5db9d34aaeae1b3cea3e1de97a%40thread.tacv2/1603811590614?context=%7b%22Tid%22%3a%22e28f1285-672f-4894-9f4e-44273bbb676a%22%2c%22Oid%22%3a%224267f30b-d8f9-4093-aa69-bffeade1984a%22%7d>

CALIFICATIVO : Muy Bueno


RESULTADO : Aprobado

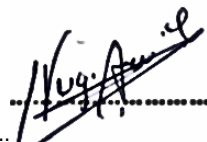
OBSERVACIONES A LA TESIS : Las observaciones y recomendaciones fueron proporcionadas durante la sustentación.

Tingo María, 29 de octubre del 2020


Miguel Eduardo Anteparra Paredes
PRESIDENTE


Jaime J. Chávez Matías
VOCAL


Luís Germán Mansilla Minaya
VOCAL


Hugo Alfredo Huamaní Yupanqui
ASESOR

DEDICATORIA

A Dios, por guiar mi camino en cada momento de mi vida, ya que me ha concedido la sabiduría, salud y fuerzas para mantenerme perseverante en el camino.

A mi familia, ya que depositaron toda su confianza en mí y me apoyaron en todo para poder cumplir no solamente uno de mis sueños, sino cumplir el de ellos también.

AGRADECIMIENTO

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva y en especial a la Facultad de Agronomía que contribuyeron a mi formación profesional.
- A mi asesor Dr. Hugo Huamaní Yupanqui, por su colaboración en el presente trabajo.
- A los miembros del jurado, M. Sc. Miguel, Anteparra Paredes, M. Sc. Jaime, Chávez Matías e Ing. Luis, Mansilla Minaya.
- A la Institución DEVIDA por brindarme el apoyo económico para la realización del trabajo de investigación.
- A los técnicos de campo de DEVIDA, quienes me brindaron su apoyo en todo momento para la ejecución del trabajo.
- A los agricultores beneficiarios de DEVIDA por permitirme trabajar en sus parcelas de cacao, por su gran hospitalidad y sobre todo por compartir sus valiosos conocimientos del cultivo de cacao.

ÍNDICE

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN	12
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	14
2.1. Cacao CCN-51	14
2.2. Rendimiento del cultivo de cacao CCN-51	14
2.3. Propiedades físicas del suelo	15
2.3.1. Textura	15
2.3.2. Densidad aparente.....	16
2.3.3. Porosidad total	17
2.3.4. Velocidad de infiltración	17
2.4. Propiedades químicas del suelo.....	19
2.4.1. Reacción del suelo.....	19
2.4.2. Materia orgánica	20
2.4.3. Fósforo disponible.....	21
2.4.4. Potasio disponible.....	22
2.4.5. Capacidad de intercambio catiónico	23
2.4.6. Calcio intercambiable.....	23
2.4.7. Magnesio intercambiable	24
2.4.8. Saturación de aluminio.....	25
2.5. Propiedades biológicas del suelo	26
2.5.1. Lombrices en el suelo	26
2.6. Diversidad biológica	27
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	29

3.1. Lugar de ejecución	29
3.1.1. Ubicación política	29
3.1.2. Fisiografía y Clima	30
3.2. Materiales y equipos	30
3.3. Metodología	30
3.3.1. Características de las parcelas de cacao	30
3.3.2. Manejo de la parcela experimental	31
3.3.3. Organización de los datos.....	31
3.3.4. Variables en estudio	32
3.3.5. Evaluación de las variables independientes.....	32
3.3.6. Evaluación de las variables dependientes	36
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
4.1. Propiedades físicas del suelo	38
4.1.1. Porcentaje de arena, limo y arcilla	38
4.1.2. Densidad aparente.....	42
4.1.3. Porosidad total.....	44
4.1.4. Velocidad de infiltración	47
4.2. Propiedades químicas del suelo.....	49
4.2.1. Reacción del suelo (pH).....	49
4.2.2. Materia orgánica y nitrógeno.....	51
4.2.3. Fósforo disponible.....	54
4.2.4. Potasio disponible.....	56
4.2.5. Capacidad de intercambio catiónico	58
4.2.6. Calcio intercambiable.....	60

4.2.7. Magnesio intercambiable	62
4.2.8. Saturación de aluminio.....	64
4.3. Propiedades biológicas del suelo	66
4.3.1. Abundancia de lombrices/m ²	66
4.4. Índice de diversidad de Shannon-Wiener de las arvenses	68
4.5. Rendimiento del cultivo de cacao CCN-51	75
4.6. Correlación de Pearson.....	78
V. CONCLUSIONES	80
VI. RECOMENDACIONES.....	81
VII. RESUMEN	82
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	83
IX. ANEXO.....	97

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
1. Fluctuación de la velocidad de infiltración básica según la textura del suelo.....	19
2. Parcelas de cacao en estudio.....	29
3. Parámetros químicos del suelo.....	34
4. Distribución del suelo según el porcentaje de arena, limo y arcilla en el valle del Bolsón Inka Cuchara.....	40
5. Distribución del suelo según la densidad aparente en el valle del Bolsón Inka Cuchara.	44
6. Distribución del suelo según la porosidad total en el valle del Bolsón Inka Cuchara.	46
7. Distribución del suelo según la velocidad de infiltración en el valle del Bolsón Inka Cuchara.	47
8. Distribución del suelo según el pH en el valle del Bolsón Inka Cuchara.....	51
9. Distribución del suelo según el porcentaje de materia orgánica y nitrógeno en el valle del Bolsón Inka Cuchara.	52
10. Distribución del suelo según el fósforo disponible en el valle del Bolsón Inka Cuchara.	55
11. Distribución del suelo según el potasio disponible en el valle del Bolsón Inka Cuchara.	58
12. Distribución del suelo según la capacidad de intercambio catiónico en el valle del Bolsón Inka Cuchara.....	59

13. Distribución del suelo según el Ca intercambiable en el valle del Bolsón Inka Cuchara.	61
14. Distribución del suelo según el Mg intercambiable en el valle del Bolsón Inka Cuchara.	62
15. Distribución del suelo según la saturación de aluminio en el valle del Bolsón Inka Cuchara.	65
16. Distribución del suelo según el número de lombrices/m ² en el valle del Bolsón Inka Cuchara.	67
17. Distribución del Índice de diversidad de Shannon-Wiener de las arvenses en el valle del Bolsón Inka Cuchara.	69
18. Distribución del rendimiento del cultivo cacao en el valle del Bolsón Inka Cuchara.	77
19. Coeficientes de correlación del rendimiento de cacao (kg/ha).	78
20. Análisis de suelos 1	105
21. Análisis de suelos 2.	106
22. Taxonomía de las plantas arvenses 1.	107
23. Taxonomía de las plantas arvenses 2	108
24. ANVA del análisis de correlación de las propiedades del suelo con el rendimiento de cacao.	110

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Área experimental.	31
2. Monolito para determinar la macrofauna del suelo.	35
3. Histograma de la distribución del suelo según el porcentaje de arena, limo y arcilla en el valle del Bolsón Inka Cuchara.	41
4. Histograma de la distribución del suelo según la densidad aparente (g/cm ³) en el valle del Bolsón Inka Cuchara.....	44
5. Histograma de la distribución del suelo según la porosidad total (%) en el valle del Bolsón Inka Cuchara.....	46
6. Histograma de la distribución del suelo según de la velocidad de infiltración (cm/h) en el valle del Bolsón Inka Cuchara.	49
7. Histograma de la distribución del suelo según el pH en el valle del Bolsón Inka Cuchara.	51
8. Distribución del suelo según el porcentaje de materia orgánica y nitrógeno en el valle del Bolsón Inka Cuchara.	54
9. Histograma de la distribución del suelo según el fósforo disponible en el valle del Bolsón Inka Cuchara.....	56
10. Histograma de la distribución del suelo según el potasio disponible en el valle del Bolsón Inka Cuchara.....	58
11. Histograma de la distribución del suelo según la capacidad de intercambio catiónico (Cmol(+)/kg) en el valle del Bolsón Inka Cuchara.....	60

12. Histograma de la distribución del suelo según el Ca intercambiable (Cmol(+)/kg) en el valle del Bolsón Inka Cuchara.	62
13. Histograma de la distribución del suelo según el Mg intercambiable (Cmol(+)/kg) en el valle del Bolsón Inka Cuchara.	64
14. Histograma de la distribución del suelo según la saturación de aluminio (%) en el valle del Bolsón Inka Cuchara.	66
15. Promedio de lombrices/m ² en diez localidades del valle Bolsón Inka Cuchara.	68
16. Promedio del Índice de diversidad de Shannon-Wiener de las arvenses en diez localidades del Valle Inka Bolsón Cuchara.	71
17. Predominancia de las familias arvenses en las localidades de Yurimaguas (A) y Buenos Aires (B).	72
18. Predominancia de las familias arvenses en la localidad Pachacutec (A), Venenillo (B), Los Cedros (c) y Venado Pampa (D).	73
19. Predominancia de las familias arvenses en la localidad Julio Cesar Tello (A), Bartolomé Herrera (B), Mercedes de Locro (C) y Capitán Soto (D).	74
20. Histograma de la distribución del rendimiento de cacao (kg/ha) en el valle del Bolsón Inka Cuchara.	77
21. Instalación y nivelación de cilindros para evaluar la velocidad de infiltración.	98
22. Evaluación de la velocidad de infiltración.	98
23. Identificación de las arvenses.	99
24. Pesado de muestras de suelo.	99

25. Evaluación de la densidad aparente – método de la probeta.....	100
26. Pesado de semillas de secas de cacao.	100
27. Muestras para análisis de suelos.....	101
28. Mapa de ubicación del Valle Inka Bolsón Cuchara.	102
29. Mapa del rendimiento de cacao y propiedades del suelo del Valle Inka Bolsón Cuchara.	103
30. Mapa de la diversidad de arvenses y propiedades del suelo del Valle Inka Bolsón Cuchara.	104

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, en el Perú el cultivo de cacao se desarrolla mejor a partir de 500 - 800 msnm (MINAGRI, 2016). Es considerado el sexto cultivo más importante a nivel nacional en términos de superficie de cosecha. Más de 138 mil productores tienen instalado cacao en sus unidades agropecuarias en la selva peruana. El MINAGRI (2018) indica que el promedio nacional de producción de cacao en el 2017 fue de 851 kg/ha.

El cacao CCN-51 corresponde al grupo genético artificial, producto del cruce entre la variedad forastero y el híbrido IMC-67 x ICS-95. El CCN-51 tiene su origen en Ecuador y fue introducido en Perú como parte de la reconversión del cultivo de la coca por sus características productivas. El valle Bolsón Inka Cuchara cuenta con grandes extensiones de cacao CCN-51 debido a que cuenta con características edafoclimáticas favorables. Las plantaciones de cacao presentan en su mayoría una gran diversidad de arvenses, como resultado de la compleja topografía, geología y de los diversos microclimas que se encuentran en el territorio. La biodiversidad herbácea puede estar relacionada positivamente con las propiedades del suelo, pero los mecanismos por los cuales se realizan tales efectos aún no se conocen muy bien y además, las especies herbáceas existentes en las plantaciones de cacao aún no han sido identificadas con el rigor que se requiere (GARCÍA, 2010).

El trabajo de investigación se orientó a determinar la relación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo con el índice de diversidad de las arvenses y el rendimiento del cultivo de cacao, planteándose la siguiente hipótesis: las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo influyen en el

índice de diversidad de las arvenses y el rendimiento del cultivo de cacao en el valle del Bolsón Inka Cuchara.

Objetivos:

Objetivo general

- Determinar la relación entre las propiedades del suelo con la diversidad de las arvenses y el rendimiento de *Theobroma cacao* L. en el valle del Bolsón Inka Cuchara, Huánuco.

Específicos:

- Evaluar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.
- Evaluar el índice de diversidad de arvenses asociadas al cultivo de cacao.
- Evaluar rendimiento del cacao (kg/ha).
- Determinar la correlación entre las propiedades del suelo con la diversidad de arvenses y el rendimiento del cultivo de cacao.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Cacao CCN-51

El clon CCN-51 se obtuvo en el año 1960, en la finca “Theobroma” por Homero Castro, localizada en Naranjal, donde seleccionó varios híbridos con las características deseadas, luego de clonar algunos de ellos les denominó con las siglas CCN-51 cuyo significado es “Colección Castro Naranjal”. Los diferentes clones CCN fueron obtenidos del híbrido entre los clones ICS-95 x IMC67 “Imperial College Selection e Iquitos Mixed Cabacillo” (CARRIÓN, 2012).

Frente a las enfermedades fungosas es susceptible a la pudrición parda, moderadamente resistente a la escoba de bruja y moderadamente resistente a la moniliasis (GARCÍA, 2010).

2.2. Rendimiento del cultivo de cacao CCN-51

El rendimiento promedio de cacao a nivel nacional es de 851 kg/ha, mientras que la región Huánuco se encuentra con 639 kg/ha (MINAGRI, 2017). El rendimiento para el CCN-51 se encuentra en 2 760 kg/ha (GARCÍA, 2010).

La baja productividad de los cultivos se debe al manejo poco tecnificado y escasa inversión en la finca. La necesidad de obtener ingresos a corto plazo y el uso de tecnologías inapropiadas por los agricultores, viene ocasionando la pérdida del recurso suelo y vegetación (MERMA y JULCA, 2012). La producción de cacao presenta problemas de enfermedades, manejo de sombra, manejo de malezas, manejo de poda, créditos para el manejo del cultivo, comercialización, poca extensión de terrenos y productores de escasos recursos (GUILTINAN y MAXINOVA, 2002). En la región de Huánuco desde fines del 2015 el “Mazorquero del cacao” insecto plaga, perforador de frutos ha adquirido gran

importancia al causar el deterioro de los granos en las mazorcas cosechadas y reducir los rendimientos.

POCOMUCHA (2016) reportó un rendimiento de cacao entre 100 a 1500 kg/ha, con un promedio de 489.17 kg/ha para el distrito de José Crespo y Castillo. De estudios hechos en San Martín se observaron diferencias en el rendimiento de cacao, en un sistema de producción convencional con plantaciones policlonales con un rendimiento promedio de 963.46 kg/ha; fincas de producción orgánica donde predominaron plantaciones híbridas asociadas con CCN-51 un rendimiento de 623.40 kg/ha y plantaciones monoclonales de CCN-51 con 933.20 kg/ha (TUESTA *et al.*, 2014). Las variaciones en la producción entre las parcelas se asocian a las diferencias en la edad de las plantaciones, densidad de siembra y tipo de cacao cultivado (VERA *et al.*, 2000). BARREZUETA (2018), señala un rendimiento de cacao CCN-51 que oscila entre 2 570.24 kg/ha a 4 158.34 kg/ha para Ecuador, quien indica a su vez que el mayor rendimiento de cacao estuvo asociado a los suelos que presentan más altos valores nutrimentales.

2.3. Propiedades físicas del suelo

2.3.1. Textura

La textura del suelo indica el contenido relativo de partículas de diferente tamaño, como arena, limo y arcilla. Indiscutiblemente la textura que está relacionada con la roca madre, es alterada por los factores ambientales, sufriendo una serie de procesos que transforman el material originario y por los que se forma el suelo con propiedades y morfología definidas (NAVARRO y NAVARRO, 2000).

Cuando los suelos presentan contenidos altos de la fracción limosa, MARTÍN y PÉREZ (2009) consideran que este obstruye los poros del suelo, disminuye el contenido de aire y limita la respiración de las plantas a través de las raíces, mientras que, GONZALES *et al.* (2018) indica que los suelos de textura arcillosa (arena: 38.44 %, limo: 14.44%, arcilla: 47.13%) poseen alta capacidad de retención de humedad durante las épocas de lluvias y baja aireación, siendo ideal los suelos de textura franca, adecuados para el establecimiento de cultivos, por ser porosos y de buena aireación.

2.3.2. Densidad aparente

La densidad aparente es la relación que existe entre el peso seco de una muestra de suelo y el volumen que esa muestra ocupa en el suelo (RUCKS *et al.*, 2004). A medida que incrementan los valores de la densidad aparente disminuyen los valores de la porosidad del suelo o viceversa (NOVILLO *et al.*, 2018).

FERREYRA y SELLÉS (2013) definen la densidad aparente por la siguiente expresión:

$$Db = \frac{Ms}{Vt}$$

Donde:

Ms: masa del suelo seco (g)

Vt: volumen total (cm³)

CERDA (2008), halló una densidad aparente de 0.90 g/cm³ para un sistema de cacao en monocultivo y 0.83 g/cm³ para un sistema agroforestal, donde indica que la densidad aparente está estrechamente correlacionada con el % de materia orgánica y % de agregados de 8 - 2 mm. El incremento de la

materia orgánica favorece la estabilidad de los agregados (STENBERG, 2000) y reduce la compactibilidad del suelo mediante la agregación (CARTER, 2002).

2.3.3. Porosidad total

La porosidad es el espacio del suelo no ocupado por sólidos, donde se pueden distinguir macroporos y microporos. Los primeros son los responsables del drenaje y la aireación del suelo, y el principal espacio en el que se desarrollan las raíces. Los segundos son los que retienen agua. La porosidad total o espacio poroso del suelo, es la suma de macroporos y microporos. Las características del espacio poroso dependen de la textura y la estructura del suelo (RUCKS *et al.*, 2004). El cálculo de la porosidad depende directamente de la densidad aparente (SALAMANCA y SADEGHIAN, 2005), por lo que la densidad aparente y la porosidad son una herramienta útil como indicadores para medir la calidad de los suelos en plantaciones cacaoteras (SÁENZ, 2011).

FERREYRA y SELLES (2013), definen la porosidad total por la siguiente expresión:

$$P (\%) = 100 X \left(1 - \frac{Db}{Dr} \right)$$

Donde :

Db: densidad aparente (g/cm³)

Dr: densidad real (g/cm³)

2.3.4. Velocidad de infiltración

CASTELLANOS *et al.* (2013), describen que “la velocidad de infiltración es la velocidad con la cual el agua penetra en el suelo”, es un proceso complejo que depende de las propiedades físicas e hidráulicas del suelo, como el contenido de humedad, de la cantidad de agua que ha recibido en el pasado,

de los cambios estructurales en las capas de suelo y de cuánto aire se encuentra atrapado en el suelo. El agua se infiltra con rapidez en los suelos secos; esta velocidad se conoce como la velocidad de infiltración inicial y a medida que el agua sustituye al aire que se encuentra en los poros, el agua de la superficie se infiltra a una velocidad menor y finalmente, cuando el suelo se satura de agua, alcanza una velocidad constante, que es la velocidad de infiltración básica.

PAREDES (2003), indica que las texturas arcillosas en el subsuelo no permiten el rápido movimiento del agua originando procesos de óxido reducción que ocasionan la aparición de moteaduras.

GARCÍA *et al.* (2007), evidenciaron que la presencia de una capa de mantillo favorece la infiltración del agua con $31.30 \text{ ml cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$. La materia orgánica (MO) funciona como una esponja capaz de absorber el agua de la lluvia reduciendo la escorrentía superficial. La pérdida de humus genera disminución de la agregación, de la porosidad, de la capacidad de infiltración y aumenta la escorrentía y la erosión de los suelos (VOLVERÁS y AMÉZQUITA, 2009). Así mismo, ZRIBY *et al.* (2011), consideran que el acolchado (mantillo) favorece la estabilidad estructural del suelo. Es posible que los árboles y arbustos modifiquen la topografía de su entorno, aumentando las fisuras y poros gruesos por los que el agua circula a mayor velocidad, ZAPATA y MANZANO (2008), consideran que la infiltración decrece continuamente conforme aumenta la distancia al árbol y que, a mayor altura de éste, mayor es la alteración de la conductividad hidráulica del suelo.

El método del infiltrómetro de doble anillo que consiste en dos anillos de cilindro, el cilindro exterior mide 55 cm de diámetro y el interior 35 cm

de diámetro, ambos de 25 cm de alto; una boya con una escala graduada en cm y mm para realizar las mediciones, la profundidad con la que deben ser enterrados los anillos es de 15 cm (SÁNCHEZ, 2009). Permite obtener mediciones directas de infiltración en áreas reducidas (puntuales). El agua se agrega en ambos anillos (interior y exterior) y las mediciones se efectúan en este último. De todos modos, se mantiene el nivel del líquido exterior con el fin de preservar la verticalidad de las líneas de corriente provenientes de la infiltración del líquido del anillo menor (WEBER, 2015).

Cuadro 1. Fluctuación de la velocidad de infiltración básica según la textura del suelo.

Tipo de Suelo	Velocidad de Infiltración Básica (mm/h)
Arenoso	Más de 30
Franco Arenoso	20 - 30
Franco	10 - 20
Franco Arcilloso	5 -10
Arcilloso	1 - 5

Fuente: Brouwer *et al.* 1988 citado por CASTELLANOS *et al.* (2013).

2.4. Propiedades químicas del suelo

2.4.1. Reacción del suelo

El pH es un importante índice para diagnóstico del estado de disponibilidad de los nutrientes para las plantas. Cuando el pH se reduce por debajo de 5.5, los niveles de acidez son tan altos que nutrientes como el calcio, magnesio y fósforo pueden no estar tan disponibles para las plantas, las que sufrirán deficiencia nutricional. Aunque las especies de plantas cultivadas tienen ciertas diferencias en cuanto al pH en que se desarrollan mejor, se acepta que,

en general, habrá mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas a pH del suelo entre 6.0 y 7.0 (TOLEDO, 2016).

El principal origen de la acidez de los suelos es la pérdida de bases del complejo de intercambio. Esta pérdida de bases puede originarse naturalmente en situaciones de balances hídricos positivos que las hayan lixiviado. La degradación de la materia orgánica también es un proceso natural que libera protones al medio. Los fertilizantes también son fuentes de liberación de H⁺. Los fertilizantes amoniacales reaccionan en el suelo y en el proceso de nitrificación (formación de nitratos, NO₃⁻) se liberan protones (ÁLVAREZ y RIMSKI-KORSAKOV, 2016).

MORENO *et al.* (2013), reportó para suelos cacaoteros de Venezuela un pH de 6.58 en promedio y como resultado el pH tuvo un efecto marcado en la disponibilidad de los nutrientes. Por otra parte, estudios realizados por CERDA (2008), halló en plantaciones de cacao en Costa Rica pH de 5.33 y 5.73 para un sistema agroforestal y monocultivo.

2.4.2. Materia orgánica

La cantidad y el tipo de materia orgánica (M.O) en el suelo dependen del aporte de materiales orgánicos que se realizan al suelo, así como la velocidad con la cual estos se descomponen. Para la descomposición de la M.O intervienen muchos factores: tipos de residuos aportados, temperatura, humedad-aireación, pH, relación C/N y materiales inorgánicos en el suelo (JARAMILLO, 2002). La composición elemental de la M.O en promedio es 50 % de carbono, 40 % de oxígeno y 3 % de nitrógeno (LAO, 2017).

GUZMÁN y LEVY (2009), hallaron en un sistema agroforestal sucesional una producción de biomasa es 6.76 t/ha^{-1} y en un sistema tradicional es 4.75 t/ha^{-1} , donde más del 60 % de esta cantidad es aportada por el componente foliar, mientras que, ZAVALA *et al.* (2018), en un sistema agroforestal encontró una biomasa vegetal de 197.22 t/ha^{-1} .

En el cultivo de cacao, YAROS (2014), encontró en el distrito de Padre Felipe Luyando - Leoncio Prado bajo un manejo tradicional 3.26 % M.O y 0.16 % N provenientes de los residuos vegetales de *Inga sp.* y *Mussa paradisiaca* y poda del cacao, mientras que, TUESTA (2015), en el distrito de Nuevo Progreso halló 1.18 % M.O y 0.059 % N bajo un sistema de manejo orgánico asociado a árboles forestales como *Swietenia macrophylla* y *Cedrela odorata*. Además, CERDA (2008), evaluó la calidad de suelos dentro de un monocultivo de cacao donde halló 3.26 % de M.O, aludiendo que este valor es por los residuos vegetales de poda del cultivo mismo.

2.4.3. Fósforo disponible

El fósforo es absorbido por las plantas en forma de ácido fosfórico (fosfato di ácido (H_2PO_4^-)) y fosfato monoácido ($\text{HPO}_4^{=}$) y es de muy poca movilidad en el suelo, manteniéndose en el lugar donde ha sido puesto por cualquiera de sus fuentes (Donahue *et al.*, 1981 citado por TOLEDO, 2016).

En suelos ácidos se produce la precipitación de fosfatos de aluminio, altamente insolubles, lo que conduce a concentraciones muy bajas de fosfatos en el suelo; por otro lado, la presencia en suelos de hidróxidos de aluminio favorece la retención de fósforo en su superficie, disminuyendo su disponibilidad. Concentraciones altas o tóxicas de aluminio en la solución del

suelo conllevan a una disminución en el desarrollo radicular, lo que supone una menor capacidad de la planta para la toma de nutrientes y, por lo tanto, de fósforo (FERNÁNDEZ, 2007).

Estudios realizados por HUAMANI *et al.* (2012), reportaron un promedio de 9.93 ppm de fósforo disponible en parcelas de cacao orgánico en la región de Huánuco y Ucayali.

2.4.4. Potasio disponible

El potasio es un nutriente absorbido rápidamente por las plantas, además es un ion bastante móvil y se pierde muy fácil por escorrentía y lixiviación, también puede quedarse retenido en la hojarasca y desprenderse lentamente con la descomposición de la materia orgánica (ARÉVALO, 2014).

La concentración de potasio registrado por MORENO *et al.* (2013), de 113.27 ppm en plantaciones cacaoteras de Venezuela, fueron favorecidos por ser plantaciones jóvenes que aún no extraen este nutriente en mayores cantidades, por el pH del suelo y la textura limosa que tuvo un efecto positivo sobre el K⁺. ARÉVALO (2014), reporta en suelos cacaoteros de San Martín con 47.4 ppm de potasio para un sistema agroforestal de cacao y 51.56 ppm de potasio para un sistema tradicional de cacao, quien a su vez indica que el potasio tiende a ser menor conforme pasan los años. BARREZUETA (2018), indica 0.31 a 1.86 Cmol (+) /kg de potasio intercambiable para suelos cultivados con cacao en Ecuador. Las existencias de K intercambiable en la capa superficial del suelo varían de 100 a 550 kg ha⁻¹, y los niveles altos de K en el suelo corresponden a niveles altos de K en la vegetación y en los residuos de la cosecha.

2.4.5. Capacidad de intercambio catiónico

Se llama capacidad total de cambio a la cantidad máxima de cationes intercambiables que pueda retener un suelo (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , H^+ , Al^{3+}). La capacidad de cambio del suelo dependerá del contenido de arcilla y materia orgánica que tenga (ANDRADES y MARTÍNEZ, 2014), es un buen indicador de la fertilidad de un suelo al estar relacionado a una mayor adsorción de iones y menor pérdida de nutrientes por lixiviación (ARÉVALO *et al.*, 2016).

En diferentes regiones cacaoteras del Perú se registraron valores de la CIC que fluctuaron entre 4.75 y 41.09 Cmol (+) /kg. Los valores altos de la CIC posiblemente se relacionan al mayor contenido de arcilla y materia orgánica en el suelo (OLOLADE *et al.*, 2010). Mientras que, en suelos cacaoteros de Venezuela se asocia la baja CIC a los bajos contenidos en materia orgánica y a la presencia de arcillas de baja reactividad como la caolinita (VERA *et al.*, 2000).

Los valores de la CIC también se asocian al pH del suelo, por ejemplo, BARREZUETA (2018), halló valores de la CIC entre 23.40 a 43.86 Cmol (+) /kg para suelos cacaoteros con pH de 6.46 - 7.72, mientras que, MARTÍNEZ (2019), reportó en el distrito de Monzón una CICE de 9.77 Cmol (+) /kg, y JARA (2016), registró en el distrito de Hermilio Valdizán un valor de 9.24 Cmol (+) /kg para suelos con $\text{pH} < 5.5$.

2.4.6. Calcio intercambiable

Los rangos para la comparación de calcio intercambiable en el suelo son: muy bajo ($\text{Ca} < 2$), bajo ($2 \leq \text{Ca} < 5$), mediano ($5 \leq \text{Ca}$) y alto ($\text{Ca} \geq 10$) (CAMPOS, 2019). El contenido de calcio está directamente relacionado con el

pH, Mg y CIC del suelo, al subir el pH del suelo incrementa el contenido de Ca y Mg.

Estudios realizados por ARÉVALO *et al.* (2016), reportaron zona cacaotera de Tocache y Bellavista valores de calcio que fluctuaron entre 2.99 hasta 38.69 cmol/kg^{-1} , atribuyendo que estos resultados están relacionados a los valores altos de pH del suelo, mientras que, CERDA (2008), bajo un sistema de monocultivos de cacao reportó un contenido de 8.26 cmol/kg^{-1} con un pH de 5.73.

PEÑA (2017), recomienda realizar encalado cuando los suelos presentan pH moderadamente ácido o menor (<6), con la finalidad de incrementar la fertilidad del suelo. Las aplicaciones de materia orgánica también incrementan las concentraciones de Ca en el suelo (BRUSCHI *et al.*, 2005). El Ca es un catión intercambiable que es atraído por los sitios negativos de las arcillas y materia orgánica del suelo, y una vez retenidos en estos sitios no se lixivian fácilmente, para ser disponibles para las plantas.

2.4.7. Magnesio intercambiable

Los rangos para la comparación de magnesio intercambiable en el suelo son: muy bajo ($\text{Mg} < 0.5$), bajo ($0.5 \leq \text{Mg} < 1.3$), mediano ($1.3 \leq \text{Mg} < 3$) y alto ($\text{Mg} \geq 3$) (CAMPOS, 2019).

Es muy común encontrar niveles bajos de Mg en los suelos cacaoteros, esto se debe a que la absorción del Mg por las plantas no solo depende de su contenido en el suelo, sino también de la cantidad de otros iones que pueden interferir en su asimilación. En suelos demasiados ácidos o con excesiva cantidad de Ca o K solubles, la absorción se efectúa con dificultad, siendo el pH un indicador de la disponibilidad de los nutrientes (OSORIO, 2012).

Cuando la relación Ca: Mg es muy alta en los suelos, las plantas absorben menos Mg, esto puede ocurrir cuando se encala solamente con calcita, por varios años consecutivos, suelos relativamente bajos en Mg. La deficiencia de Mg también puede acentuarse con la aplicación de altas dosis de K o por una alta disponibilidad de amonio (NH_4^+) en suelos con bajos niveles de Mg (IPNI, 1997 citado por VÉLEZ, 2018). Los suelos arenosos con baja CIC, pH ácido, también presentan limitaciones, ya que se pierde por lixiviación (SADEGHIAN, 2012 y SEGARPA, 2012).

2.4.8. Saturación de aluminio

Los suelos con un pH superior a 6.0 no contienen niveles tóxicos de aluminio, sin embargo, cuando el pH comienza a descender por debajo de pH 6.0, los minerales primarios y secundarios se disuelven liberando Al en la solución del suelo (YANG *et al.*, 2015). Por ejemplo, RUIZ (2011), reportó en suelos ácidos una saturación de aluminio de 48.53 %. Es por ello por lo que ROSAS *et al.* (2017), recomienda realizar encalado, para elevar el pH del suelo y disminuir la saturación de aluminio.

Dada la alta saturación de este metal, podemos considerar que está ocupando una gran proporción de los sitios con carga negativa del suelo, reduciendo el espacio para que los nutrientes catiónicos (calcio, magnesio, potasio, amonio, etc.) puedan adherirse y mantenerse cerca de las raíces de las plantas (TOLEDO, 2016).

Claudle (1988) citado por VERA *et al.* (2000), menciona que el cacao es una planta moderadamente resistente a la saturación de aluminio pues soporta hasta 40 %, sin que afecte marcadamente la producción, y a su vez

Molina (1998), citado por NAZAR (2010), planteó que para el cultivo de cacao la saturación de Al debe ser menor 30 %. Estudios hechos por HUAMANI *et al.* (2012), en la región de Huánuco y Ucayali mostraron porcentajes de saturación de aluminio dentro de los límites permitidos para el cultivo a excepción de una localidad con 32 %.

2.5. Propiedades biológicas del suelo

2.5.1. Lombrices en el suelo

Las lombrices de tierra son anélidos oligoquetos clitelados macroscópicos que viven en el suelo, son indicadoras de la fertilidad natural del suelo (GÓMEZ, 2011), representan la mayor biomasa animal en la mayoría de los ecosistemas y su principal factor limitante es la humedad del suelo (FRAGOSO y ROJAS, 2014). Pueden procesar a través de sus cuerpos hasta 250 toneladas del suelo al año por hectárea. Influye de forma muy significativa en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo; estos organismos juegan un papel crucial en la modificación de la estructura del suelo, aceleran el proceso de descomposición de la materia orgánica y del reciclaje de nutrientes (DOMÍNGUEZ *et al.*, 2009). Estudios realizados por VILLANUEVA (2015), en el Distrito de José Crespo y Castillo-Aucayacu encontró en sistemas agroforestales 262 ind/m² de lombrices en contraste con un bosque natural con 699 ind/m².

La perturbación del medio edáfico tiene una respuesta negativa en el número de lombrices, CERDA (2008), encontró en el valle de Talamanca-Costa Rica en los suelos de cacaoteros 38 ind/m², debido a la intensidad de uso de la tierra (CABRERA, 2012). Es por ello por lo que FEIJOO *et al.* (2004),

indicaron que las lombrices son bioindicadores de señales tempranas de trayectorias de degradación, o de recuperación de los suelos.

2.6. Diversidad biológica

Los estudios más avanzados están referidos al nivel ecológico, es decir, a la diversidad dentro el hábitat y entre hábitats. La medición de la diversidad de especies involucra dos criterios: el más antiguo denominado Riqueza de Especies o Riqueza Biológica, que sólo considera la cantidad de especies en un determinado espacio geográfico; y el segundo, el de la heterogeneidad que involucra la riqueza de especies y la abundancia de cada una de ellas (ÑIQUE, 2010).

➤ **Índice de Diversidad de Shannon - Wiener (H')**

Es la medida del grado de incertidumbre que existe para predecir la especie a la cual pertenece un individuo extraído aleatoriamente de la comunidad. Para un número dado de especies e individuos, la función tendrá un valor mínimo cuando todos los individuos pertenecen a una misma especie y un valor máximo cuando todas las especies tengan la misma cantidad de individuos. Los valores que se obtiene con este índice generalmente están entre 1.5 y 3.5 y raramente sobrepasa a 4.5 (ÑIQUE, 2010).

➤ **Diversidad de plantas arvenses**

La diversidad de arvenses puede variar de acuerdo con el estado de perturbación que han recibido los suelos agrícolas. Además, la competencia de las arvenses por la luz, los nutrientes y el agua es una de las vías para interferir con el crecimiento normal de los cultivos (FAO, 2017). En áreas de influencia agrícola se pueden registrar valores de 1.085, 1.51, 1.75 y 1.96 y nats/ind (VITTA

et al., 2005). Por regla general las arvenses suelen crecer de forma natural, y considerable vigor por tratarse de especies endémicas muy adaptadas al medio.

Las condiciones edafoclimáticas, las prácticas agrícolas y las características bioecológicas favorecen la dominancia y dispersión de las familias Asteráceas, Apiáceas y Brassicáceas (REQUEJO, 2014). En sistemas agrícolas la predominancia de la familia Asteraceae puede llegar hasta un 37 % de la población total de malezas, debido a que presentan órganos de dispersión anemófila, posibilitando una mayor dispersión de sus semillas y por ello facilitando colonizar más rápido los diferentes ambientes (MARCHIORI y INZE, 2015).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

3.1.1. Ubicación política

El trabajo de investigación se realizó en el Valle Inka Bolsón Cuchara, Provincia de Leoncio Prado, en la Región de Huánuco en las áreas de influencia de productores de cacao, con las siguientes coordenadas UTM, zona 18 L.

Cuadro 2. Parcelas de cacao en estudio.

Código	Comunidad	UTM		Altitud (m.s.n.m)
		N	S	
M-001	Pachacútec	384604	8983268	624
M-002	Pachacútec	384680	8982821	625
M-003	Pachacútec	384426	8983532	644
M-004	Venado Pampa	386973	8983932	622
M-005	Venado Pampa	387238	8983395	636
M-006	Venado Pampa	386947	8984676	639
M-007	Venenillo	379601	8995493	602
M-008	Venenillo	378397	8993122	615
M-009	Venenillo	380331	8994992	598
M-010	Los Cedros	377183	8993914	613
M-011	Los Cedros	377258	8993475	620
M-012	Julio Cesar Tello	378509	8988022	706
M-013	Julio Cesar Tello	378462	8988180	723
M-014	Julio Cesar Tello	378965	8988388	724
M-015	Bartolomé Herrera	372804	8992008	646
M-016	Bartolomé Herrera	373932	8993464	613
M-017	La Merced de Locro	382443	8987726	618
M-018	La Merced de Locro	383968	8987366	590
M-019	La Merced de Locro	383285	8987700	615
M-020	La Merced de Locro	383004	8988305	601
M-021	Capitán José Soto Mejía	381970	8989173	629
M-022	Capitán José Soto Mejía	382240	8988987	593
M-023	Capitán José Soto Mejía	382828	8988266	598
M-024	Yurimaguas	382101	8983061	661
M-025	Yurimaguas	381853	8983378	660
M-026	Buenos Aires	371775	8988917	809
M-027	Buenos Aires	372210	8989047	850
M-028	Buenos Aires	371427	8988378	865

3.1.2. Fisiografía y Clima

El Valle de Bolsón Inka Cuchara se caracteriza por su topografía plana y casi boscosa. El clima es cálido, excesivamente lluvioso y con amplitud térmica moderada. La media anual de temperatura máxima y mínima es 30.5°C y 18.7°C, respectivamente. La precipitación media acumulada anual es 3472.8 mm.

3.2. Materiales y equipos

- Sistema de posicionamiento global (GPS)
- Pala derecha
- Marco de cilindro 25 x 25 cm
- Bolsas de polietileno
- Machete
- Baldes
- Tubo muestreador
- Cilindros y minicilindros
- Cuaderno de campo
- Balanza
- Cámara fotográfica

3.3. Metodología

3.3.1. Características de las parcelas de cacao

Se trabajó en parcelas de cacao CC-N51 de 4 a 8 años, con un sistema de siembra de tres bolillos (3 x 3 m), haciendo un total de 1 283 plantas/ha⁻¹, de manejo convencional, en producción, con asociaciones de guaba y plátano principalmente.

3.3.2. Manejo de la parcela experimental

En la parcela de cacao CCN-51 de 1 ha^{-1} , se delimitó en el centro un área experimental de $20 \times 20 \text{ m}$ (Ver Figura 1), donde se evaluó las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Las muestras de suelo se extrajeron directamente del área que corresponde a la planta de cacao, estas plantas se caracterizaron por presentar frutos maduros. En la misma área se realizó la evaluación de las arvenses.

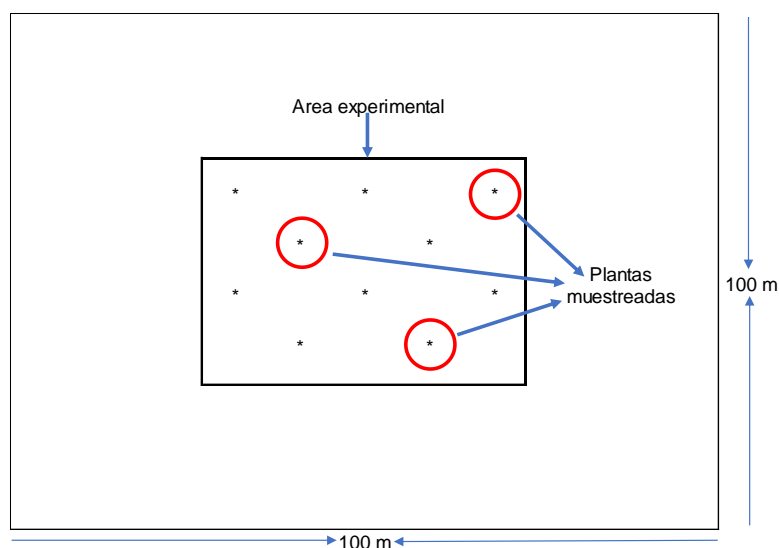


Figura 1. Área experimental.

3.3.3. Organización de los datos

Con la finalidad de realizar el análisis e interpretación de la información colectada, los datos se sometieron a un proceso de ordenación y clasificación, en distribución de frecuencias como datos cuantitativos continuos. Donde se determinó las frecuencias de acuerdo con el número de clase, límite inferior y superior de la clase y marca de clase.

3.3.4. Variables en estudio

a. Variables independientes

- Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo

b. Variables dependientes

- Diversidad de arvenses
- Rendimiento del Cacao.

El modelo matemático se describe como:

$$Y = P_{fs} + P_{qs} + P_{bs}$$

Donde:

Y: Rendimiento del cacao

Y: Diversidad de arvenses

P_{fs}: Propiedades físicas del suelo

P_{qs}: Propiedades químicas del suelo

P_{bs}: Propiedades biológicas del suelo

Los datos se analizaron a través del programa estadístico libre SPSS para su diferenciación de cada variable estadística.

3.3.5. Evaluación de las variables independientes

a. Propiedades físicas del suelo

a.1. Textura

Se evaluó en el laboratorio de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, con el método del hidrómetro de Bouyucos,

a.2. Densidad aparente

Se pesó 50 g de muestra de suelo secado en la estufa, luego en una probeta se adicionó la muestra de suelo (poco a poco, tratando de

compactar el suelo y dejando caer la probeta sobre el tapón de jebe), después se anotó el volumen final del suelo obtenido en la probeta. Para determinar la densidad real se vació cuidadosamente la muestra de suelo en una pieza de papel. A la probeta ya vacía, se hecho 50 ml de agua destilada anotando el volumen de este. Se adicionó cuidadosamente el suelo a la probeta, luego se agitó la muestra con una bagueta durante la adición del suelo (con el fin de expulsar completamente el aire), dejando reposar durante 5 minutos, posteriormente se leyó el volumen de la mezcla suelo y del agua. Y se anotó este resultado.

a.3. Porosidad total

Debido a que la porosidad total del suelo depende de las características de su fracción sólida, ella se estima con base a las densidades real y aparente.

El cálculo se realizó a partir de la siguiente relación:

$$P = \left[1 - \frac{D_a}{D_r} \right] \times 100$$

P = porosidad total: %

D_a = densidad aparente (g/cm^3)

D_r = densidad real (2.65 g/cm^3 como media general)

a.4. Velocidad de infiltración

El método que se utilizó para evaluar la velocidad de infiltración del suelo fue el infiltrómetro de cilindro doble, conformado por un cilindro externo de 50 cm y un cilindro de 20 cm de diámetro, con una altura de 35 cm y 0.3 de espesor (Los dos cilindros).

Se realizó la limpieza del área sin dañar las condiciones iniciales de la superficie del suelo, luego los cilindros fueron introducidos en el suelo de manera vertical mediante golpes suaves hasta 10 cm de profundidad y fueron nivelados con la ayuda de un nivel; el proceso de instalación se realizó con cuidado para no alterar en lo posible el suelo. Para evitar cualquier alteración del suelo al agregar el agua en los cilindros, se utilizó un plástico, primero se llenó el cilindro de diámetro mayor y luego el cilindro de diámetro menor hasta llegar al nivel de medida. Se tuvo en cuenta el tiempo y el inicio de las lecturas según disminuía la lámina de agua. Se tomaron los siguientes tiempos: seis tiempos de 1 min., tres tiempos de 3 min., tres tiempos de 10 min., dos tiempos de 20 min., un tiempo de 40 min y la última lectura de 60 minutos sólo una vez. Las lecturas se realizaron con un cronómetro.

b. Propiedades químicas del suelo

Para el desarrollo de los diferentes análisis químicos, se realizó el muestreo de suelo en cada parcela de cacao; estas fueron llevadas al laboratorio de análisis de suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, donde se efectuaron los siguientes análisis:

Cuadro 3. Parámetros químicos del suelo.

Parámetros químicos	Método empleado
pH (1:1)	: Potenciómetro, relación suelo agua 1:1
Materia orgánica (%)	: Walkley y Black
Nitrógeno (%)	: % M.O x 0.05
Fósforo disponible (ppm)	: Olsen modificado
Potasio disponible (ppm)	: Desplazamiento con Acetato de Amonio 1N pH: 7.0

Para suelos con $\text{pH} > 5.5$: Reemplazamiento con acetato de amonio 1N
cationes cambiabiles (Ca^{+2} , : pH : 7.0 (cuantificado por EAA).
 Mg^{+2} , Na^+ , K^+)

Para suelos con $\text{pH} < 5.5$: Reemplazamiento con Cloruro de Potasio 1N:
cationes cambiabiles (Ca^{+2} , : cuantificado el Ca^{+2} , Mg^{+2} por EAA, y método de
 Mg^{+2} , Al^{+3} , H^+), Yuan para Al^{+3} , H^+ .

CIC : Suma de cationes (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+)

CICe : Suma de cationes (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} , H^+)

Fuente: Laboratorio de análisis de suelos de la U.N.A.S

c. Propiedades biológicas del suelo

c.1. Metodología de muestreo

El muestreo de la macrofauna del suelo se realizó de acuerdo con la metodología del "Programa Tropical Soil Biology and Fertility" (TSBF), siendo modificado en el trabajo realizado. Se realizó un monolito de 25 x 25 x 10 cm (Figura 2) con el objetivo de determinar el número de lombrices presentes en determinada área. Para ello se utilizó un marco de metal de 25 x 25 x 10 cm, el cual se introdujo al suelo y se extrajo el bloque de suelo.

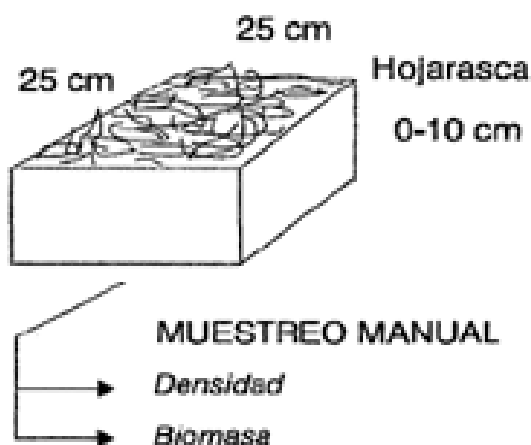


Figura 2. Monolito para determinar la macrofauna del suelo.

3.3.6. Evaluación de las variables dependientes

a. Diversidad de las arvenses

Se determinó un área experimental de 1 m² cerca de la planta de cacao, donde se realizó un inventario de las arvenses presentes en dicha área, siendo estas: gramíneas, helechos, rastreras, etc. Las especies fueron determinadas con ayuda de libros, manuales e internet.

Se reconoció las arvenses a nivel de familia según la clasificación taxonómica, de acuerdo con los sistemas de Engler (1892), Cronquist (1981) y el APG II (2003).

a.1. Determinación del Índice de diversidad de Shannon

Wiener

El índice de diversidad de Shannon-Wiener mide la heterogeneidad entre especie e individuo. La función tendrá un valor mínimo cuando todos los individuos pertenecen a una misma especie y un valor máximo cuando todas las especies tengan la misma cantidad de individuos (ÑIQUE, 2010).

Mediante la siguiente expresión se determinó el índice de diversidad de Shannon-Wiener:

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i$$

$$p_i = \frac{n_i}{N}$$

Dónde:

n_i: número de individuos en el sistema de la especie determinada *i*.

N: número total de individuos

S: número total de especies

b. Rendimiento del cultivo cacao CCN-51

El rendimiento del cacao se obtuvo de la cosecha total de la campaña 2018. La Cooperativa Alto Huallaga estuvo a cargo de registrar la cantidad de cacao en baba entregada por los agricultores. Los datos fueron transformados de la siguiente manera:

1 balde de semillas de cacao en baba = 7 kg de cacao

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Propiedades físicas del suelo

4.1.1. Porcentaje de arena, limo y arcilla

En el Cuadro 4 y Figura 3, se muestra la distribución del suelo según el porcentaje de arena, limo y arcilla, donde el 35.71 % de los suelos presentaron contenidos de arena mayores o iguales a 29.96 hasta 52.96 %, mientras que, el 50.00 % de los suelos mostraron contenidos de limo mayores o iguales a 34.32 hasta 58.32 %, y el 35.71 % de los suelos registraron contenidos de arcilla mayores o iguales a 39.72 hasta 58.72 %. El promedio general para la arena, limo y arcilla fue 26.13, 34.89 y 37.91 %, con un coeficiente de variabilidad de 43.74, 26.05 y 24.6 %, considerados muy variables.

El cultivo de cacao se establece mejor en suelos de textura suelta: arcillosos con agregados, franco arenoso y franco limoso, corroborados por HUAMANI *et al.* (2012), donde reportaron que las condiciones físicas de los suelos de Huánuco y Ucayali son adecuadas para el establecimiento del cultivo de cacao, predominando texturas como franco arcilloso, franco arenoso, franco limoso. Así mismo, ARÉVALO *et al.* (2016), encontraron una gran diversidad de texturas en las zonas de Leoncio Prado (franco arcilloso), Tocache (franco), Huamalíes (franco arcilloso limoso), confirmando así que el cultivo de cacao se puede establecer en diferentes texturas de suelo, pese a algunas limitaciones que puedan presentar, siendo estas mejoradas por la aplicación de materia orgánica para la formación de agregados (MARTÍNEZ *et al.* 2008). Cuando los suelos presentan contenidos altos de la fracción limosa, MARTÍN y PÉREZ (2009), considera que este obstruye los poros del suelo, disminuye el contenido

de aire y limita la respiración de las plantas a través de las raíces. GONZALES *et al.* (2018), mencionan que la textura arcillosa (arena: 38.44 %, limo: 14.44%, arcilla: 47.13%) indican suelos con alta capacidad de retención de humedad durante las épocas de lluvias y baja aireación, siendo ideal los suelos de textura franco, por ser porosos y de buena aireación, considerados adecuados para el establecimiento del cultivo de cacao.

Frente a los resultados ya expuestos, podemos decir que los suelos del valle Bolsón Inka Cuchara en su mayoría son adecuados para el establecimiento del cultivo de cacao, pese a que algunos suelos manifiestan altos porcentajes de arcilla.

Cuadro 4. Distribución del suelo según el porcentaje de arena, limo y arcilla en el valle del Bolsón Inka Cuchara.

Arena (%)	Frecuencia	Porcentaje (%)	Limo (%)	Frecuencia	Porcentaje (%)	Arcilla (%)	Frecuencia	Porcentaje (%)
[6.96 - 14.63>	4	14.29	[10.32 - 18.32>	1	3.57	[20.72 - 27.05>	3	10.71
[14.63 - 22.29>	9	32.14	[18.32 - 26.32>	3	10.71	[27.05 - 33.39>	7	25.00
[22.29 - 29.96>	5	17.86	[26.32 - 34.32>	10	35.71	[33.39 - 39.72>	8	28.57
[29.96 - 37.63>	5	17.86	[34.32 - 42.32>	8	28.57	[39.72 - 46.05>	3	10.71
[37.63 - 45.29>	3	10.71	[42.32 - 50.32>	5	17.86	[46.05 - 52.39>	5	17.86
[45.29 - 52.96]	2	7.14	[50.32 - 58.32]	1	3.57	[52.39 - 58.72]	2	7.14
Total	28	100 %	Total	28	100 %	Total	28	100 %
\bar{X} = 26.13	C.V (%) = 43.74		\bar{X} = 34.89	C.V (%) = 26.05		\bar{X} = 37.91	C.V (%) = 24.6	

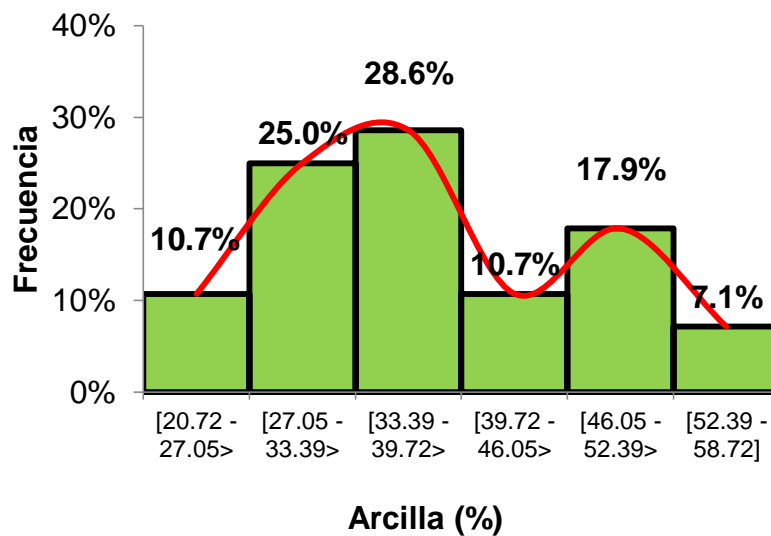
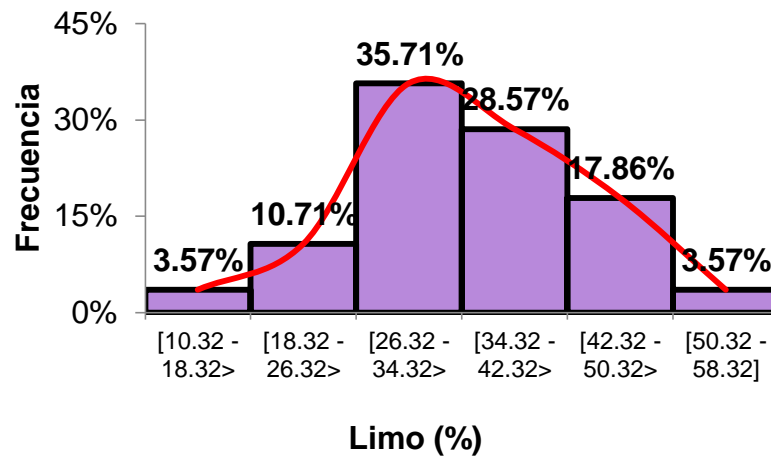
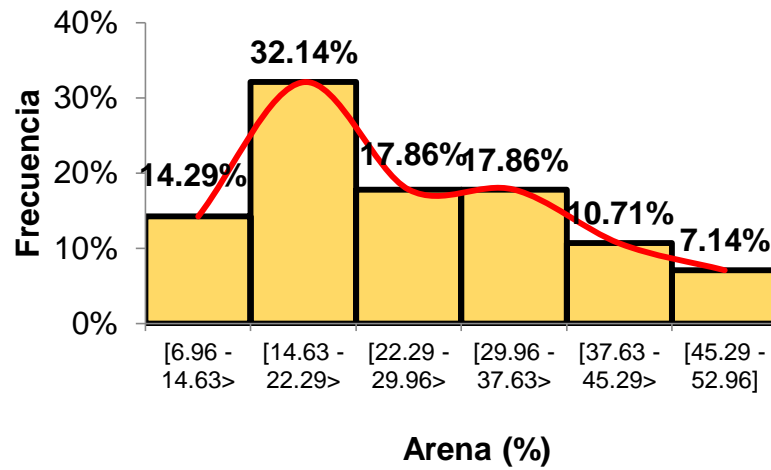


Figura 3. Histograma de la distribución del suelo según el porcentaje de arena, limo y arcilla en el valle del Bolsón Inka Cuchara.

4.1.2. Densidad aparente

En el Cuadro 5 y Figura 4, se muestra la distribución del suelo según la densidad aparente (g/cm^3), donde el mayor porcentaje (32.14 %) de los suelos comprendieron valores entre 1.15 a más y a menos de 1.19 g/cm^3 , mientras que, en menor porcentaje (7.14 %) de los suelos presentaron valores mayores o iguales a 1.27 pero menores a 1.31 g/cm^3 . Los valores presentaron un coeficiente de variabilidad de 5 %, considerados estos con un alto grado de homogeneidad. Así mismo, el promedio general para la densidad aparente fue de 1.22 g/cm^3 , similarmente a lo reportado por JARA (2016), quien encontró en los suelos de un sistema agroforestal de cacao 1.20 g/cm^3 , evaluado a una profundidad de 0 - 10 cm; YAROS (2014) reportó para el Sector Naranjillo del Distrito Padre Felipe Luyando un valor de 1.24 g/cm^3 , mientras que, MARTÍNEZ (2019), halló en el distrito de Monzón un valor de 1.18 g/cm^3 . Los suelos estudiados también presentan una densidad aparente similar a otras regiones del país donde se cultiva el cacao como es el distrito de Nuevo Progreso con 1.2 g/cm^3 (TUESTA, 2015).

La densidad aparente es una propiedad afectada principalmente por el contenido de materia orgánica, textura, porosidad y agregación del suelo, en un trabajo de investigación realizado por CERDA (2008), reportó valores menores con respecto a lo registrado en este estudio, para un sistema de cacao en monocultivo halló una densidad aparente de 0.90 g/cm^3 y para un sistema agroforestal un valor de 0.83 g/cm^3 , el mismo autor señala que la densidad aparente está estrechamente correlacionada con el % de materia orgánica y % de agregados de 8 - 2 mm. Sin embargo, la baja densidad aparente de los suelos

de la zona de estudio se asocia principalmente a la presencia de las arcillas (textura) y en menor al efecto de la materia orgánica por sus bajos contenidos, a excepción de algunas parcelas por sus contenidos medios (Cuadro 9); así mismo la porosidad total tiene una relación negativa con la densidad aparente del suelo, a medida que la porosidad aumenta la densidad disminuye (NOVILLO *et al.*, 2018).

De estudios realizados en sistemas de producción de cacao se reportó una menor densidad aparente para un sistema tradicional (1.33 g/cm^3) y agroforestal de cacao (1.31 g/cm^3) en comparación a un bosque secundario (1.37 g/cm^3), esta característica pudo ser alterada por las prácticas de manejo empleadas en los sistemas agroforestales (ARÉVALO, 2014). Las prácticas de manejo inadecuadas de los suelos traen como consecuencia la pérdida de la materia orgánica, observadas en los suelos evaluados. Sin embargo, el incremento de la materia orgánica favorece la estabilidad de los agregados (STENBERG, 2000), reducción de la compactibilidad del suelo (CARTER, 2002), que indica a su vez una baja densidad del suelo. Como afirma SALAMANCA y SADEGHIAN (2005), a medida que incrementa los contenidos de materia orgánica en el suelo disminuyen los valores de densidad aparente; debido a esto aumenta la retención de la humedad, disminuyen los valores de resistencia a la penetración e incrementa mayor área de exploración por las raíces.

Cuadro 5. Distribución del suelo según la densidad aparente en el valle del Bolsón Inka Cuchara.

Densidad aparente (g/cm ³)	Frecuencia	Porcentaje (%)
[1.11 - 1.15>	3	10.71
[1.15 - 1.19>	9	32.14
[1.19 - 1.23>	3	10.71
[1.23 - 1.27>	8	28.57
[1.27 - 1.31>	2	7.14
[1.31 - 1.35]	3	10.71
Total	28	100%

\bar{X} = 1.22 C.V. (%) = 5

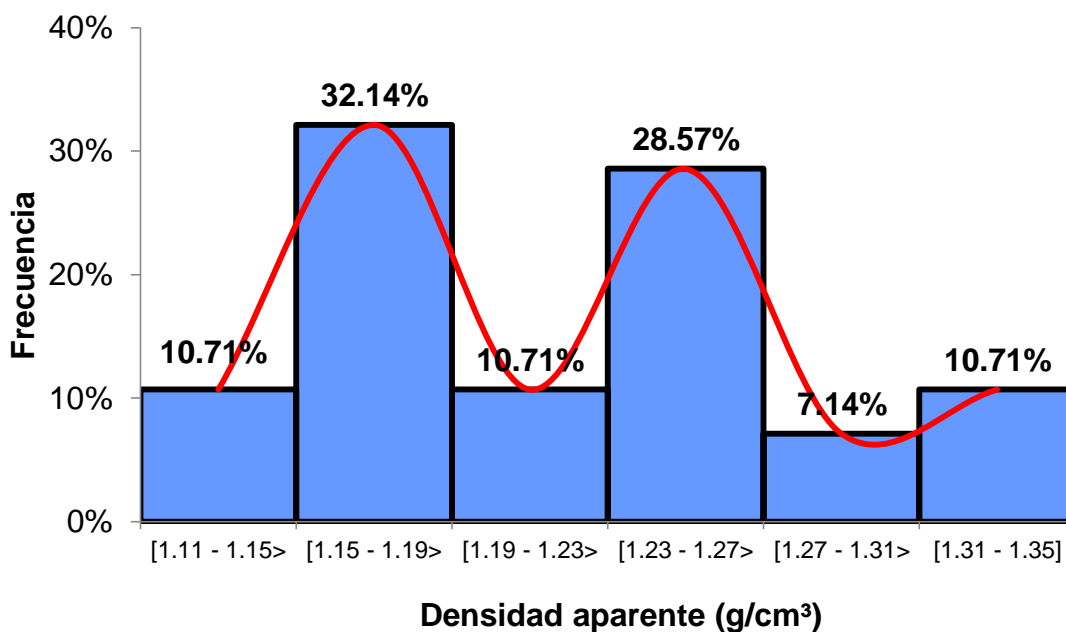


Figura 4. Histograma de la distribución del suelo según la densidad aparente (g/cm³) en el valle del Bolsón Inka Cuchara.

4.1.3. Porosidad total

En el Cuadro 6 y Figura 5, se muestra la distribución del suelo según la porosidad total (%), donde el mayor porcentaje (32.14 %) de los suelos comprendieron valores entre 55.05 a más y a menos de 56.56 %, mientras que, en menor (7.14 %) de los suelos presentaron valores mayores o iguales a 50.52

pero menores a 52.03 %. El promedio general para la porosidad total fue 53.97 %, con un coeficiente de variabilidad de 4.26 %, considerado con un alto grado de homogeneidad.

Los altos porcentajes de porosidad obtenidos en las parcelas de cacao evaluadas, se justifican por los bajos valores de la densidad aparente (Cuadro 5), ya que el cálculo de la porosidad depende directamente de la densidad aparente (SALAMANCA y SADEGHIAN, 2005); así mismo a la textura, predominante por la fracción arcillosa (Cuadro 4) que favorece el incremento de la porosidad por la abundancia de microporos; también por la actividad biológica de las lombrices en el suelo (Cuadro 16), quienes ayudan a la distribución y tamaño de los poros. A diferencia de MARTÍNEZ (2019), reportó una porosidad del suelo de 55.7 % en plantaciones de cacao, influenciados por el mayor contenido de arena y materia orgánica (3.17 %) presente en esos suelos. La materia orgánica también contribuye al aumento de la porosidad, sin embargo, en los suelos evaluados es menor su efecto ya que los contenidos son bajos en el suelo en la mayoría de las parcelas (Cuadro 9). Un sistema agroforestal de cacao muestra un valor de 50.6 % de porosidad, probablemente influenciado por el desarrollo de las especies y los cultivos, haciendo que los espacios porosos se incrementen por el desarrollo de las raíces (ARÉVALO, 2014). Por otra parte, estudios realizados en suelos cacaoteros de Venezuela reportaron una porosidad total que fluctúan entre 36 y 45 %, justificados por una granulometría dominada por la fracción arena, que favorecen la rápida infiltración del agua y buena aireación para el adecuado desarrollo radical del cacao (VERA *et al.*, 2000). Es por ello por lo que la densidad aparente y la porosidad son una

herramienta útil como indicadores para medir la calidad de los suelos en plantaciones cacaoteras (SÁENZ, 2011). Sin embargo, la porosidad y la densidad aparente del suelo son propiedades que pueden ser alteradas en el tiempo, por el cultivo y por las prácticas de manejo empleadas (ARÉVALO, 2014).

Cuadro 6. Distribución del suelo según la porosidad total en el valle del Bolsón Inka Cuchara.

Porosidad total (%)	Frecuencia	Porcentaje (%)
[49.01 - 50.52>	3	10.71
[50.52 - 52.03>	2	7.14
[52.03 - 53.54>	8	28.57
[53.54 - 55.05>	3	10.71
[55.05 - 56.56>	9	32.14
[56.56 - 58.07]	3	10.71
Total	28	100%

\bar{X} = 53.97 C.V (%) = 4.26

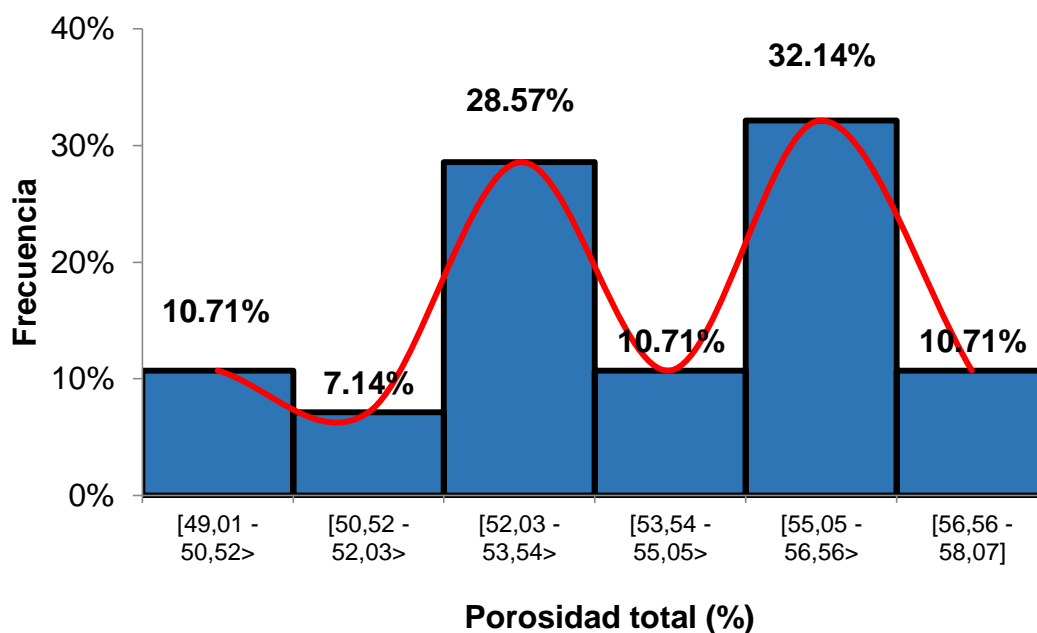


Figura 5. Histograma de la distribución del suelo según la porosidad total (%) en el valle del Bolsón Inka Cuchara.

4.1.4. Velocidad de infiltración

En el Cuadro 7 y Figura 6, se muestra la distribución del suelo según la velocidad de infiltración (cm/h), donde la mayor frecuencia (18) de los suelos presentaron valores entre 0.07 a más y a menos de 5.49 cm/h, mientras que, la menor frecuencia (4) estuvo representada por valores mayores o iguales a 16.34 hasta 32.61 cm/h. El promedio general para la velocidad de infiltración (cm/h) fue 7.24 cm/h.

Cuadro 7. Distribución del suelo según la velocidad de infiltración en el valle del Bolsón Inka Cuchara.

Velocidad de infiltración (cm/h)	Frecuencia	Porcentaje (%)
[0.07 - 5.49>	18	64.29
[5.49 - 10.92>	6	21.43
[10.92 - 16.34>	0	0.00
[16.34 - 21.76>	1	3.57
[21.76 - 27.19>	1	3.57
[27.19 - 32.61]	2	7.14
Total	28	100%

$\bar{X}= 7.24$

Las variaciones del contenido de limo y arcilla de los suelos (Cuadro 5) influenció en la regulación de la infiltración debido a que son partículas que tienen menor tamaño pero mayor cantidad de microporos. El Cuadro 1, nos dice que la tasa de infiltración de los suelos arcillosos es menor (5 mm o 0.5 cm/h), la infiltración frena cuando los poros se hacen más pequeños, sin embargo, incrementa cuando los poros son grandes y continuos en la superficie del suelo (GÓMEZ *et al.* 2014). Además, cuando hay texturas arcillosas en el subsuelo, estas no permiten el rápido movimiento del agua originando procesos de óxido reducción que ocasionan la aparición de

moteaduras (PAREDES, 2003). Cuando la intensidad de la precipitación es mayor que la capacidad de infiltración del suelo se produce charcos, generando condiciones anaeróbicas en el suelo.

Es evidente que la presencia de mantillo que se forma en el suelo (Figura 21 y 22 del Anexo) ha influenciado en el incremento de la velocidad de infiltración, mediante la materia orgánica las partículas del suelo (arena, limo y arcilla) tienden a unirse en estructuras mayores llamadas agregados, creándose entre agregados espacios mayores que facilitan el movimiento del agua y aire dentro del suelo, los resultados apoyan la hipótesis de GARCÍA *et al.* (2007), donde evidenciaron que la presencia de una capa de mantillo favorece la infiltración del agua con $31.30 \text{ ml cm}^2 \text{ min}^{-1}$. La materia orgánica funciona como una esponja capaz de absorber el agua de la lluvia reduciendo la escorrentía superficial. La pérdida de humus genera disminución de la agregación, de la porosidad, de la capacidad de infiltración y aumenta la escorrentía y la erosión de los suelos (VOLVERÁS y AMÉZQUITA, 2009). Así mismo, ZRIBY *et al.* (2011) consideran que el acolchado (mantillo) favorece la estabilidad estructural del suelo. Es posible que los árboles y arbustos modifican la topografía de su entorno, aumentando las fisuras y poros gruesos por los que el agua circula a mayor velocidad. Un estudio realizado por ZAPATA y MANZANO (2008), consideran que la infiltración decrece continuamente conforme aumenta la distancia al árbol y que, a mayor altura de éste, mayor es la alteración de la conductividad hidráulica del suelo. Es posible que los valores altos obtenidos (16.34 – 32.61 cm/h) de la velocidad de infiltración sean porque las plantaciones de cacao están asociadas a árboles forestales, guaba, plátano, arvenses, etc., y

las raíces de estos hayan influenciado en la generación de macroporos en el suelo.

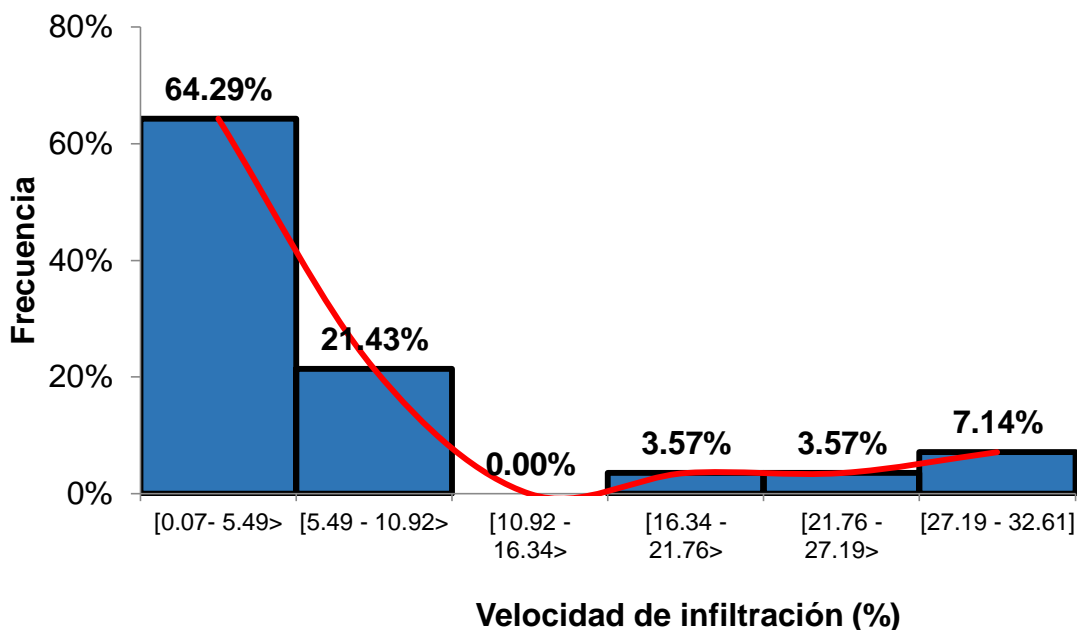


Figura 6. Histograma de la distribución del suelo según de la velocidad de infiltración (cm/h) en el valle del Bolsón Inka Cuchara.

4.2. Propiedades químicas del suelo

4.2.1. Reacción del suelo (pH)

En el Cuadro 8 y Figura 7 se puede observar la distribución del suelo según el pH, donde el 39.29 % de los suelos presentaron pH extremadamente ácido (mayores o iguales a 3.93 pero menores a 4.48), mientras que, el 25 % presentaron pH muy fuertemente ácido (mayores o iguales a 4.48 pero menores a 5.03), el 28.57 % presentaron pH fuertemente ácido (mayores o iguales a 5.03 pero menores a 5.59), el 3.57 % presentaron pH ligeramente ácido (mayores o iguales a 6.14 pero menores a 6.69), y el 3.57 % presentaron pH Neutro (6.69 - 7.24). El promedio general para el pH fue 4.84, con un coeficiente de variabilidad de 14.49 %, considerado de variabilidad moderada.

Los suelos ácidos registrados se justifican por las altas precipitaciones en la zona de estudio, ya que la reacción de los suelos se asocia a la influencia de la meteorización de los minerales primarios por la intensa lixiviación a la que están sujetos. Además, las aplicaciones de fertilizantes sintéticos como la urea también acidifican el suelo. Sin embargo, algunos suelos que presentaron $\text{pH} > 5.5$ se asocian a la adición de enmiendas, con el fin de incrementar el pH (ARÉVALO *et al.*, 2016). Cuando el pH se reduce por debajo de 5.5, los niveles de acidez son tan altos que nutrientes como el calcio, magnesio y fósforo pueden no estar tan disponibles para las plantas, lo que generaría deficiencia nutricional (TOLEDO, 2016).

El cultivo de cacao en Venezuela está establecido en suelos con pH de 6.58 en promedio (MORENO *et al.*, 2013); en Costa Rica los sistemas de monocultivo y agroforestal reportaron pH de 5.73 y 5.33 (CERDA, 2008). Mientras que, en el Perú, MARTÍNEZ (2019), reportó un pH de 5.14 para el distrito de Monzón; JARA (2016), en el distrito de Hermilio Valdizán encontró un pH de 4.62. Estudios realizados en plantaciones de cacao en tres regiones del Perú indicaron que el pH de los suelos fluctuó entre fuertemente ácidos (5.38) a moderadamente alcalinos (8.29). Los valores más altos ($\text{pH} > 7$) fueron hallados en plantaciones de cacao de las regiones de Tumbes, Piura (Morropón y Piura), Cajamarca y San Martín (Bellavista, Huallaga y Mariscal Cáceres), y los valores menores ($\text{pH} < 7$) en Piura (Huancabamba), Amazonas, San Martín (El Dorado y Tocache), Huánuco, Junín y Cuzco. De acuerdo con lo reportado por los diferentes autores, podemos decir que el pH del suelo puede ser muy fluctuante de acuerdo con la zona, factores edafoclimáticos y manejo del cultivo.

Cuadro 8. Distribución del suelo según el pH en el valle del Bolsón Inka Cuchara.

pH	Frecuencia	Porcentaje (%)
[3.93 - 4.48>	11	39.29
[4.48 - 5.03>	7	25.00
[5.03 - 5.59>	8	28.57
[5.59 - 6.14>	0	0.00
[6.14 - 6.69>	1	3.57
[6.69 - 7.24]	1	3.57
Total	28	100%

\bar{X} = 4.84 C.V (%) = 14.49

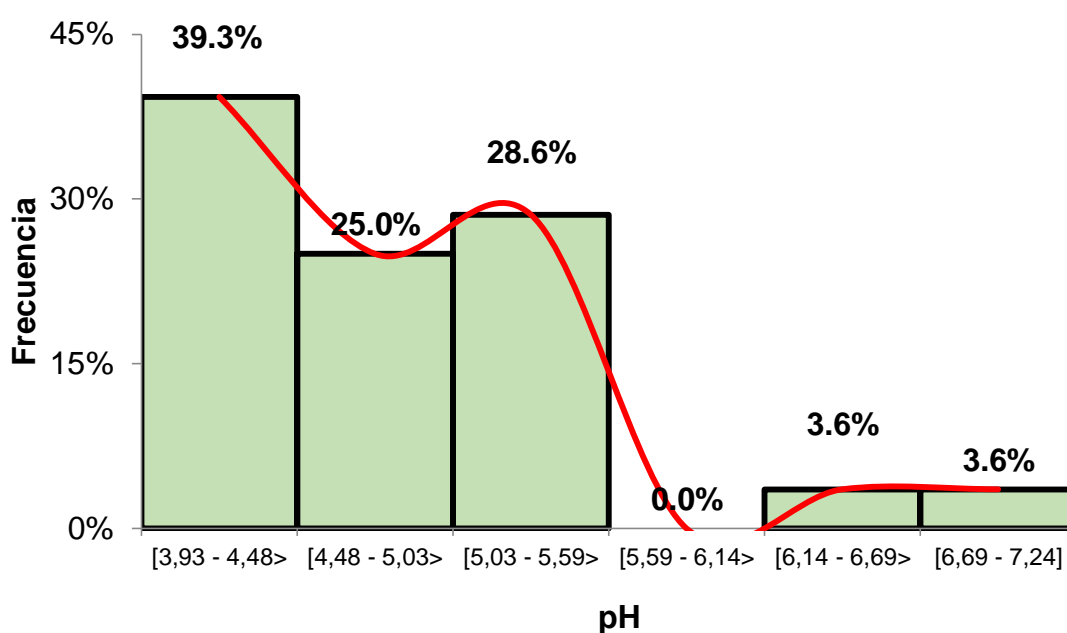


Figura 7. Histograma de la distribución del suelo según el pH en el valle del Bolsón Inka Cuchara.

4.2.2. Materia orgánica y nitrógeno

En el Cuadro 9 y Figura 8, se muestra la distribución del suelo según la materia orgánica (M.O) y el nitrógeno (N), donde el 53.6 % de los suelos presentaron niveles bajos de M.O entre 0.81 a más y menos de 1.98 % y N entre 0.04 a más y menos 0.09 %, mientras que, el 46.4 % de los suelos mostraron niveles medios de M.O entre 1.98 hasta 3.16 % y N entre 0.09 hasta 1.14 %. El

promedio general para la M.O y N fue 1.91 y 0.09 %, con un coeficiente de variabilidad de 36.20 y 36.18 % para la M.O y N, considerados altamente variables.

Cuadro 9. Distribución del suelo según el porcentaje de materia orgánica y nitrógeno en el valle del Bolsón Inka Cuchara.

M.O. (%)	Frecuencia	Porcentaje (%)	N (%)	Frecuencia	Porcentaje (%)
[0.81 - 1.20>	6	21.43	[0.04 - 0.05>	6	21.43
[1.20 - 1.59>	4	14.29	[0.05 - 0.07>	4	14.29
[1.59 - 1.98>	5	17.86	[0.07 - 0.09>	5	17.86
[1.98 - 2.37>	6	21.43	[0.09 - 0.11>	6	21.43
[2.37 - 2.77>	2	7.14	[0.11 - 0.12>	2	7.14
[2.77 - 3.16]	5	17.86	[0.12 - 0.14]	5	17.86
Total	28	100%	Total	28	Total

$\bar{X} = 1.91$ C.V (%) = 36.20 $\bar{X} = 0.09$ C.V (%) = 36.18

Las fuentes provenientes de M.O y N en el suelo se debe a que las plantaciones de cacao estuvieron asociadas principalmente a árboles forestales (guaba) y plátano, estos mediante la hojarasca y residuos vegetales aportan M.O al suelo, además las mismas plantas de cacao a través de la poda producen cantidades significativas de residuos vegetales. De acuerdo con ZAVALA *et al.* (2018), en un sistema agroforestal de cacao hallaron una biomasa vegetal de 197.22 t/ha⁻¹, mientras que, GUZMÁN y LEVY (2009), reportaron en un sistema agroforestal sucesional una producción de biomasa de 6.76 t/ha⁻¹, y en un sistema tradicional un valor de 4.75 t/ha⁻¹, donde más del 60 % de esta cantidad es aportada por el componente foliar, estos resultados se deben a la densidad y composición del diseño de las plantaciones, porque se asocian a especies maderables, frutales y conjuntamente con el cultivo de cacao. Es por ello por lo

que se incrementa el contenido de nutrientes (N-P-k) en el suelo, por ejemplo, la especie maderable *Inga edulis* es considerado fijador de nitrógeno.

Si hacemos un comparativo con los distritos de Leoncio Prado, YAROS (2014), reportó en el distrito de Padre Felipe Luyando en el cultivo de cacao bajo un manejo tradicional 3.26 % M.O y 0.16 % N, provenientes de los residuos vegetales de *Inga sp*, *Mussa paradisiaca* y de la poda del cacao, mientras que, TUESTA (2015), halló en el distrito de Nuevo Progreso bajo un sistema orgánico - agroforestal con *Swietenia macrophylla* y *Cedrela odorata* 1.18 % M.O y 0.059 % N. Por otro lado, CERDA (2008), evaluó la calidad de los suelos en el valle de Talamanca-Costa Rica, donde encontró bajo un sistema de monocultivo de cacao 3.26 % de M.O, aludiendo que estos valores son producidos por los residuos vegetales hechas por la poda del cultivo mismo. Esto confirma que los sistemas agroforestales promueven un mayor contenido de M.O en el suelo, pero también deberían ser suplidas por otras fuentes orgánicas para lograr superar el 3 % de M.O que se requiere en el cultivo de cacao. Según los datos de este estudio el contenido de M.O y N no son suficientes para abastecer los requerimientos nutricionales de la planta, siendo el N el segundo elemento de mayor extracción por las semillas de cacao, así lo confirma FURCAL (2017), donde encontró que el K⁺ es el primer elemento que se encuentra en las semillas de cacao, seguido de N con 2.4 %.

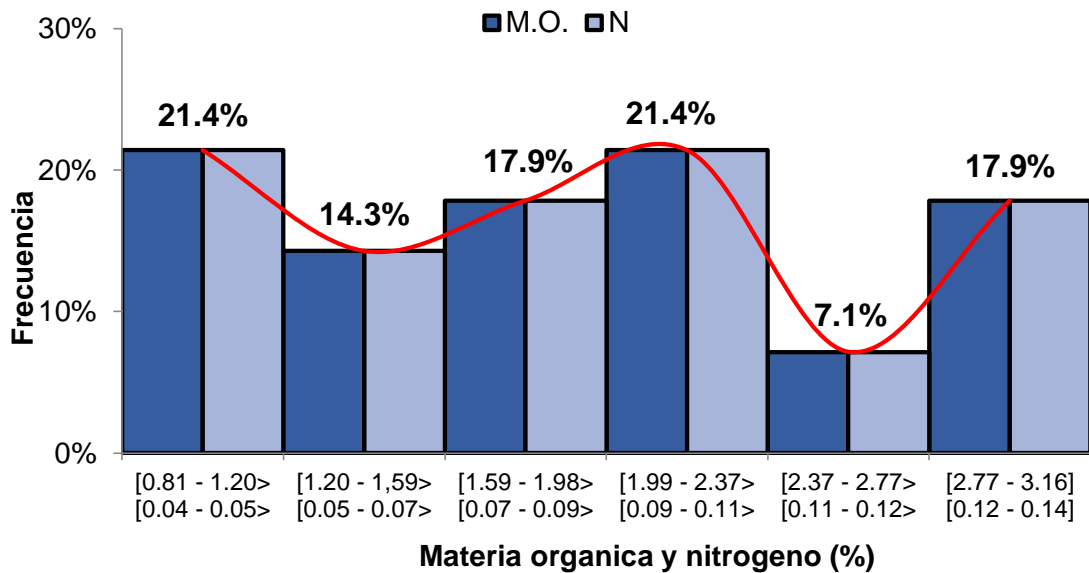


Figura 8. Distribución del suelo según el porcentaje de materia orgánica y nitrógeno en el valle del Bolsón Inka Cuchara.

4.2.3. Fósforo disponible

En el Cuadro 10 y Figura 9 se muestra la distribución del suelo según el contenido de fósforo disponible, donde el 64.3 % de los suelos presentaron concentraciones de fósforo disponible entre 4.21 a más y a menos de 7.25 ppm, considerados niveles bajos para este nutriente, mientras que, el 35.7 % de los suelos presentaron niveles medios que van desde los 7.25 hasta 10.29 ppm de fósforo. Los datos de la muestra presentaron un promedio general de 6.63 ppm, con un coeficiente de variación de 25.75 %, considerado de variabilidad moderada. Los contenidos de fósforo disponible en la zona de estudio en su mayoría fueron de niveles bajos, relacionada a la acidez del suelo (Cuadro 8), lo cual es consecuencia de la toxicidad generada principalmente por el aluminio (Cuadro 15). En suelos ácidos se produce la precipitación de fosfato de aluminio, altamente insolubles, lo que conduce a concentraciones muy bajas de fosfatos en el suelo; por otro lado, la presencia en suelos de hidróxidos de

aluminio favorece la retención de fósforo en su superficie, disminuyendo su disponibilidad (FERNÁNDEZ, 2007). A pesar de que el cultivo de cacao es originario de la Amazonia, allí predominan suelos ácidos que limitan la disponibilidad de nutrientes como el fósforo (QUINTEIRO *et al.*, 2013). HUAMANI *et al.* (2012), reportaron un promedio de 9.93 ppm de fósforo disponible en parcelas de cacao orgánico en la región de Huánuco y Ucayali; GIRALDO *et al.* (2018) encontraron en plantaciones de cacao en Colombia deficiencias de fósforo por los bajos niveles que se encuentran este nutriente en el suelo. Los bajos niveles de fósforo encontrados en las parcelas son una limitante en la fertilidad del suelo para la producción de cacao. La mayoría de los suelos están deficientes en formas de fósforo asimilables, por lo que se requiere la aplicación de fertilizantes fosforados para alcanzar altos niveles de productividad. Sin embargo, la mayor parte del fósforo aplicado es rápidamente fijado en el suelo (FERNÁNDEZ, 2007), por el cual es necesaria la aplicación de encalantes que permitan elevar el pH mayor a 5.5 y disminuir los niveles de Al y Fe, y mejorar la disponibilidad de nutrientes como el fósforo (ROSAS *et al.*, 2017).

Cuadro 10. Distribución del suelo según el fósforo disponible en el valle del Bolsón Inka Cuchara.

Fósforo disponible (ppm)	Frecuencia	Porcentaje (%)
[4.21 - 5.22>	7	25.00
[5.22 - 6.24>	8	28.60
[6.24 - 7.25>	3	10.70
[7.25 - 8.26>	3	10.70
[8.26 - 9.28>	5	17.90
[9.28 - 10.29]	2	7.10
Total	28	100%

\bar{X} = 6.63 C.V (%) = 25.75

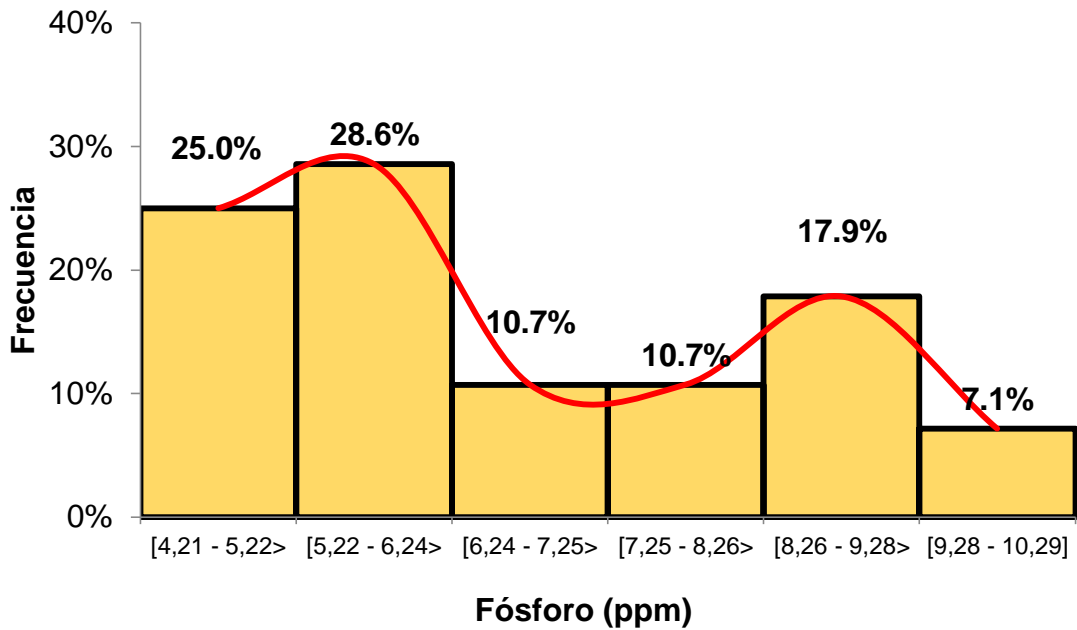


Figura 9. Histograma de la distribución del suelo según el fósforo disponible en el valle del Bolsón Inka Cuchara.

4.2.4. Potasio disponible

En el Cuadro 11 y Figura 10, se muestra la distribución del suelo según el contenido de potasio disponible, donde el mayor porcentaje (60.7 %) de los suelos comprendieron valores entre 53.73 a más y a menos de 98.63 ppm, mientras que, el menor (39.3 %) de los suelos presentaron valores entre 98.63 hasta 188.42 ppm. El mayor porcentaje de los suelos en la zona de estudio presentaron niveles bajos de potasio disponible y el de menor proporción contenidos medios. Así mismo el coeficiente de variabilidad fue 31.96 %, considerado muy variable, con un promedio general de 96.22 ppm, mayor a lo reportado por ARÉVALO (2014), en el departamento de San Martín bajo un sistema agroforestal de cacao reportó 47.4 ppm de potasio disponible, mientras que en un sistema tradicional halló 51.56 ppm. El mismo autor señala que el potasio en el suelo conforme pasa los años disminuye su contenido. A su vez,

MORENO *et al.* (2013), reportaron en plantaciones cacaoteras de Venezuela 113.27 ppm de potasio disponible (nivel medio), favorecidos por el pH del suelo y la textura limosa que tuvo un efecto positivo sobre el K^+ , además, por ser plantaciones jóvenes la capacidad de extracción de este elemento es menor.

La baja fertilidad con respecto al potasio en los suelos estudiados se justifica por el bajo pH (Cuadro 8), ya que el pH está involucrado con la disponibilidad de este nutriente, y por la baja capacidad de intercambio catiónico (Cuadro 12), porque el ion K^+ compite con el Ca^{++} y Mg^{++} por lugares en los coloides como potasio intercambiable. BARREZUETA (2018), encontró de 0.31 a 1.86 Cmol(+)/kg de potasio intercambiable para suelos con altos niveles de CIC. El potasio es un nutriente absorbido rápidamente por las plantas, además es un ion bastante móvil y se pierde muy fácil por escorrentía y lixiviación, también puede quedarse retenido en la hojarasca y desprenderse lentamente con la descomposición de la materia orgánica (ARÉVALO, 2014). La existencia de K^+ intercambiable en la capa superficial del suelo varían de 100 a 550 kg/ha, los niveles altos de potasio en el suelo corresponden a niveles altos de K en la vegetación y de los residuos de la cosecha (mazorcas). Por tanto, el balance de nutrientes es negativo en ausencia de fertilizantes inorgánicos, especialmente para el potasio (HARTEMINK, 2005), necesario para satisfacer los requerimientos nutricionales de extracción de potasio por las plantas de cacao.

Cuadro 11. Distribución del suelo según el potasio disponible en el valle del Bolsón Inka Cuchara.

Potasio disponible (ppm)	Frecuencia	Porcentaje (%)
[53.73 - 76.18>	9	32.1
[76.18 - 98.63>	8	28.6
[98.63 - 121.08>	5	17.9
[121.08 - 143.52>	4	14.3
[143.52 - 165.97>	1	3.6
[165.97 - 188.42]	1	3.6
Total	28	100%

\bar{X} = 96.22 C.V (%) = 31.96

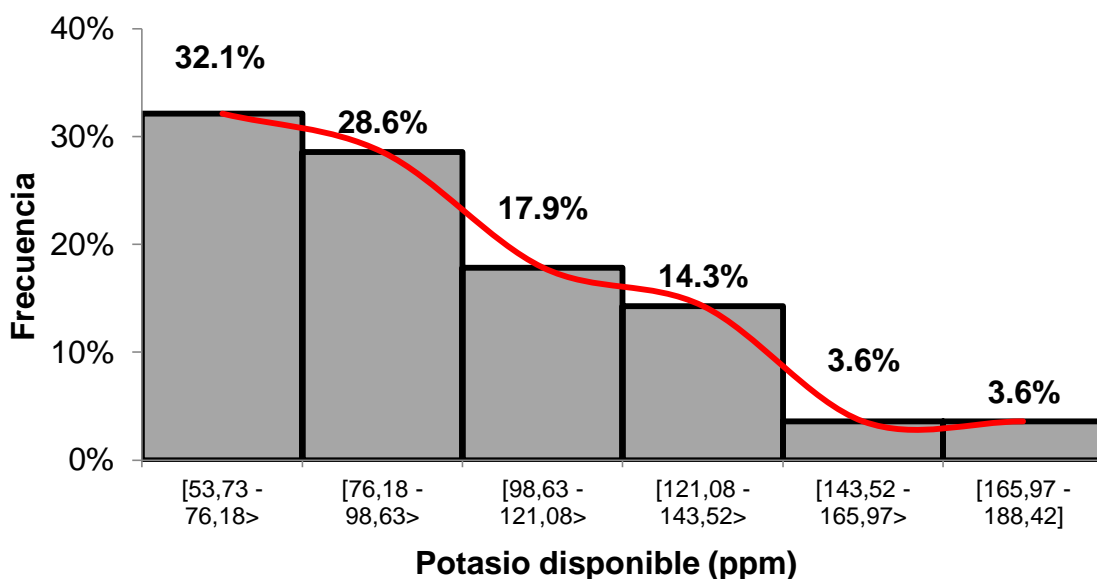


Figura 10. Histograma de la distribución del suelo según el potasio disponible en el valle del Bolsón Inka Cuchara.

4.2.5. Capacidad de intercambio catiónico

De acuerdo con el Cuadro 12 y Figura 11 de la distribución del suelo según la capacidad de intercambio catiónico, se observa que un 85.7 % de los suelos presentaron valores mayores o iguales a 3.48 Cmol(+)/kg pero menores a 7.87 Cmol(+)/kg, y en menor proporción con 14.3 % entre 7.87 - 12.25 Cmol(+)/kg. Con un promedio general de 6.25 Cmol(+)/kg y un coeficiente de

variabilidad de 30.12 %, considerado muy variable. Los suelos estudiados en su mayoría presentaron niveles bajos de la CIC, similar a los suelos cacaoteros del distrito de Monzón, donde MARTÍNEZ (2019), reportó un valor de 9.77 Cmol(+)/Kg, también JARA (2016) halló en el distrito de Emilio Valdizán 9.24 Cmol(+)/kg en suelos con pH<5.5, en contraste con BARREZUETA (2018), quien reportó valores para la CIC entre 23.40 hasta 43.86 Cmol(+)/kg en pH de 6.46 - 7.72.

La CIC es un buen indicador de la fertilidad del suelo, al estar relacionado a una mayor adsorción de iones y menor pérdida de nutrientes por lixiviación (ARÉVALO *et al.*, 2016). Permite retener y tener a disposición nutrientes procedentes de la meteorización o mineralización de la materia orgánica. En algunas parcelas de cacao estudiadas, los niveles altos de CIC posiblemente se relacionan al mayor contenido de arcilla y materia orgánica en el suelo (OLOLADE *et al.*, 2010), mientras que, los bajos valores de la CIC pueden asociarse a la presencia de arcillas de baja reactividad como la caolinita y a los bajos contenidos de materia orgánica (VERA *et al.*, 2000).

Cuadro 12. Distribución del suelo según la capacidad de intercambio catiónico en el valle del Bolsón Inka Cuchara.

CIC (Cmol(+)/kg)	Frecuencia	Porcentaje (%)
[3.48 - 4.94>	6	21.4
[4.94 - 6.40>	13	46.4
[6.40 - 7.87>	5	17.9
[7.87 - 9.33>	1	3.6
[9.33 - 10.79>	2	7.1
[10.79 - 12.25]	1	3.6
Total	28	100%

\bar{X} = 6.25 C.V (%) = 30.12

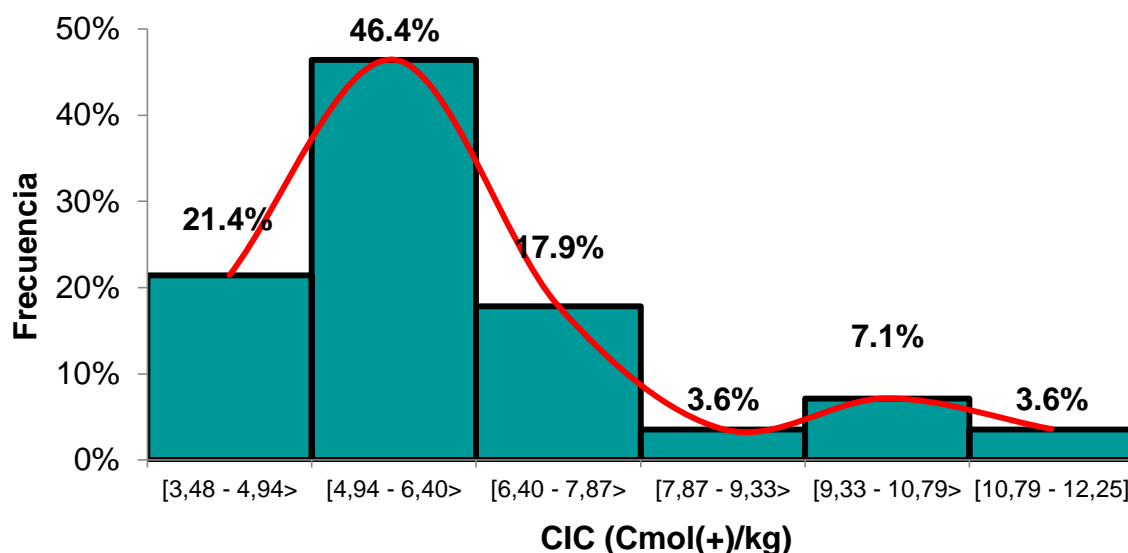


Figura 11. Histograma de la distribución del suelo según la capacidad de intercambio catiónico (Cmol(+)/kg) en el valle del Bolsón Inka Cuchara.

4.2.6. Calcio intercambiable

En el Cuadro 13 y Figura 12, se muestra la distribución del suelo según el Ca intercambiable, donde el 82.15 % de los suelos presentaron niveles bajos entre 1.71 a más y a menos de 4.42 Cmol(+)/kg, mientras que, el 17.85 % de los suelos presentaron niveles medios que van desde los 4.42 hasta 9.84 Cmol(+)/kg. Con un promedio general de 3.36 Cmol(+)/kg y un coeficiente de variabilidad de 51.35 %, considerado muy variable.

El contenido de calcio está directamente relacionado con el pH, Mg y CIC del suelo; al subir el pH del suelo incrementa el contenido de Ca y Mg, estudios realizados por ARÉVALO *et al.* (2016), encontraron en Tocache y Bellavista valores de calcio en el suelo que fluctuaron entre 2.99 hasta 38.69 cmol/kg⁻¹, atribuyendo que los resultados están relacionados con los valores altos de pH del suelo, mientras que, CERDA (2008), halló bajo un sistema de

monocultivo de cacao un contenido de calcio de $8.26 \text{ cmol/kg}^{-1}$ con un pH de 5.73. PEÑA (2017), indica que cuando los suelos presentan un pH moderadamente ácido o menor (<6) es recomendable realizar encalado, con la finalidad de incrementar la fertilidad del suelo. También las aplicaciones de materia orgánica incrementan las concentraciones de Ca en el suelo (BRUSCHI *et al.*, 2005). En el Cuadro 8, podemos observar que el 46.4 % de los suelos presentaron niveles medios de M.O, posiblemente hayan influenciado en la concentración de Ca en el suelo. Es necesario mencionar que el Ca es un catión intercambiable que es atraído por los sitios negativos de las arcillas y materia orgánica del suelo, y una vez retenidos en estos sitios no se lixivian fácilmente.

Cuadro 13. Distribución del suelo según el Ca intercambiable en el valle del Bolsón Inka Cuchara.

Calcio (Cmol(+)/kg)	Frecuencia	Porcentaje (%)
[1.71 - 3.07>	18	64.29
[3.07 - 4.42>	5	17.86
[4.42 - 5.78>	3	10.71
[5.78 - 7.13>	0	0.00
[7.13 - 8.49>	1	3.57
[8.49 - 9.84]	1	3.57
Total	28	100%

$\bar{X} = 3.36$ C.V (%) = 51.35

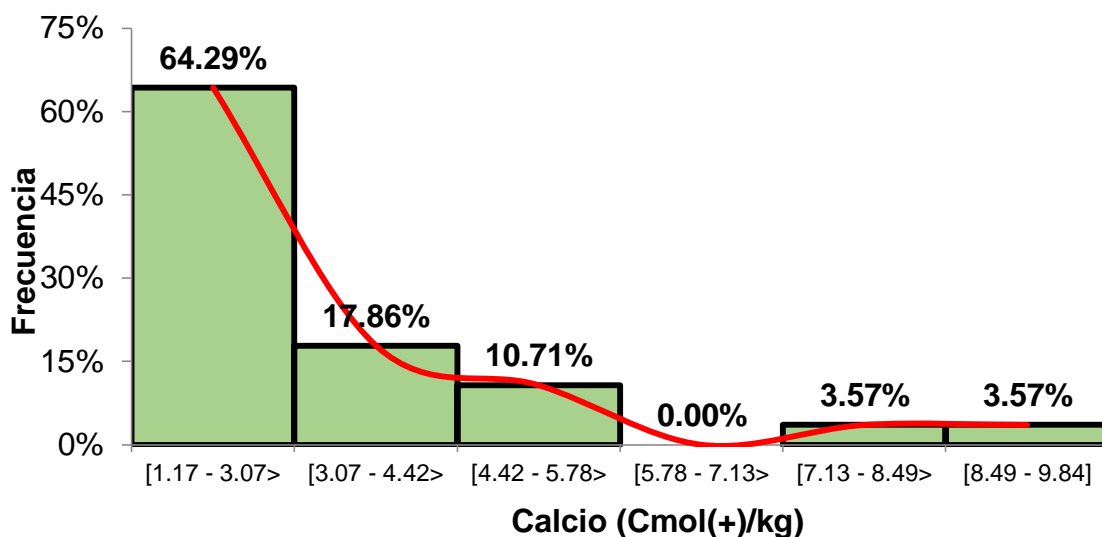


Figura 12. Histograma de la distribución del suelo según el Ca intercambiable (Cmol(+)/kg) en el valle del Bolsón Inka Cuchara.

4.2.7. Magnesio intercambiable

En el Cuadro 14 y Figura 13, se muestra la distribución del suelo según el Mg intercambiable, donde el 89.29 % de los suelos presentaron niveles bajos (0.56 a más y a menos de 1.31 Cmol(+)/kg), mientras que, el 10.71 % de los suelos registraron valores medios (1.31 hasta 2.05 Cmol(+)/kg). Con un promedio general de 0.92 Cmol(+)/kg y un coeficiente de variabilidad de 38.99 %, considerado muy variable.

Cuadro 14. Distribución del suelo según el Mg intercambiable en el valle del Bolsón Inka Cuchara.

Magnesio (Cmol(+)/kg)	Frecuencia	Porcentaje (%)
[0.56 - 0.81>	16	57.14
[0.81 - 1.06>	5	17.86
[1.06 - 1.31>	4	14.29
[1.31 - 1.55>	1	3.57
[1.55 - 1.80>	0	0.00
[1.80 - 2.05]	2	7.14
Total	28	100%

\bar{X} = 0.92 C.V (%) = 38.99

Coincidiendo con otros reportes de análisis para este nutriente, ARÉVALO *et al.* (2016), evaluaron el contenido de magnesio intercambiable en los suelos de San Martín (El Dorado, Tocache) y Huánuco (Huamalíes) donde encontraron valores por debajo de 0.8 cmol kg^{-1} considerado como un nivel crítico para el establecimiento del cultivo de cacao. Asimismo, GONZALES *et al.* (2018), evaluaron la fertilidad química del suelo en agroecosistemas cacaoteros en la subregión del Noroeste y Urabá Antioqueño, donde el contenido de magnesio fue 0.46 y $4.98 \text{ cmol kg}^{-1}$, considerando un rango ideal de 0.8 hasta 4.4 cmol.kg^{-1} . Es muy común encontrar niveles bajos de Mg en suelos cacaoteros, esto se debe a que la absorción del Mg por las plantas no solo depende de su contenido en el suelo, sino también de la cantidad de otros iones que pueden interferir en su asimilación. En suelos demasiados ácidos o con excesiva cantidad de Ca o K solubles, la absorción se efectúa con dificultad, siendo el pH un indicador de la disponibilidad de los nutrientes (OSORIO, 2012). Cuando la relación Ca: Mg es muy alta en los suelos, las plantas absorben menos Mg, esto puede ocurrir cuando se encala solamente con calcita, por varios años consecutivos, suelos relativamente bajos en Mg. VÉLEZ (2018), indica a través del International Plant Nutrition Institute (IPNI) que la deficiencia de Mg también puede acentuarse con la aplicación de altas dosis de K^+ o por una alta disponibilidad de amonio (NH_4^+) en suelos con bajos niveles de Mg. Los suelos arenosos con baja CIC, pH ácido, también presentan limitaciones en Mg, ya que se pierde por lixiviación (SADEGHIAN, 2012 y SEGARPA, 2012).

FURCAL (2017) indica que el rango necesario de Mg para producir una cosecha de 1 t de semillas secas de cacao es 8.3 a 11.6 kg de MgO , además,

el efecto del Mg también se puede expresar como un aumento en el número de mazorcas sanas y peso fresco por planta (VÉLEZ, 2018).

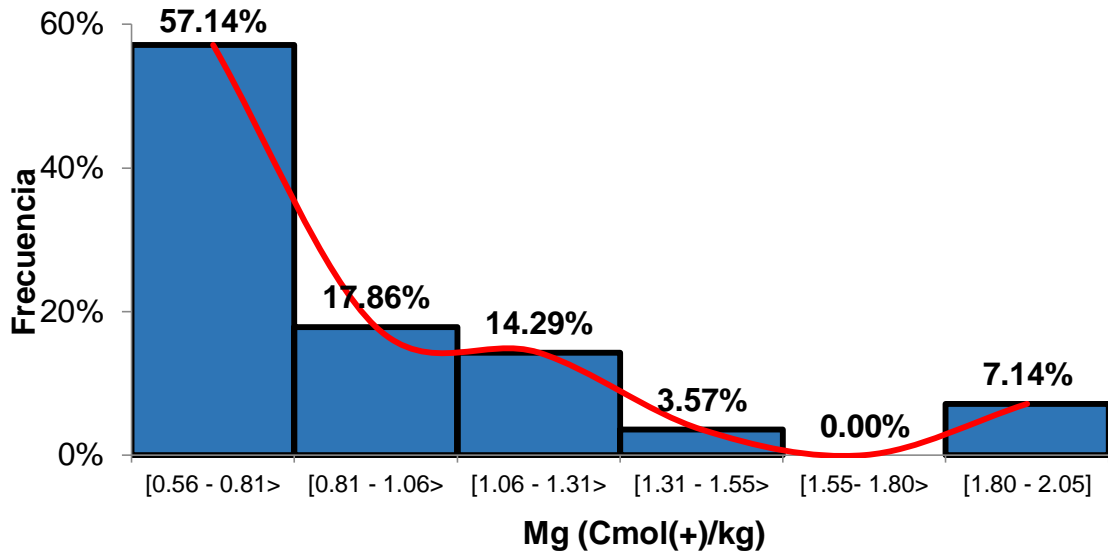


Figura 13. Histograma de la distribución del suelo según el Mg intercambiable (Cmol(+)/kg) en el valle del Bolsón Inka Cuchara.

4.2.8. Saturación de aluminio

De acuerdo con el Cuadro 15 y Figura 14 de la distribución del suelo según la saturación de aluminio, existió un 64 % de suelos con una saturación de aluminio mayor o igual a 0.00 pero menores a 34.00 %, mientras que, el 35 % de los suelos presentaron valores entre 34.00 - 67.99 %. El promedio general para la saturación de aluminio fue 29.14 %, con un coeficiente de variabilidad de 75.54 %, considerado muy variable.

Los altos niveles de saturación de aluminio registrados en las parcelas se asocian principalmente al pH del suelo (Cuadro 8), ya que los suelos con pH superiores a 6.0 no contienen niveles tóxicos de aluminio, sin embargo, cuando el pH comienza a descender por debajo de pH 6.0, los minerales primarios y secundarios se disuelven liberando Al (aluminio) en la solución del

suelo (YANG *et al.*, 2015). Caudle (1988), citado por VERA *et al.* (2000) señalan al cacao como una planta moderadamente resistente a la saturación de aluminio, pues soporta hasta 40 %, sin que afecte marcadamente a la producción. Y a su vez, Molina 1998, citado por NAZAR (2010) planteó que para el cultivo de cacao la saturación de Al debe ser menor 30 %. Estudios realizados por HUAMANI *et al.* (2012) en la región de Huánuco y Ucayali mostraron porcentajes de saturación de aluminio dentro de los límites permitidos para el cultivo a excepción de una localidad con 32 %. Que difieren de una saturación de aluminio de 48.53 % presente en un suelo ácido (RUÍZ, 2011), donde se realizan instalaciones de cacao en el cual es necesario efectuar un plan de encalado. El encalado eleva el pH del suelo y disminuye la saturación de aluminio (ROSAS *et al.*, 2017). Lo que justifica que algunas parcelas evaluadas presenten bajos porcentajes de saturación aluminio, posiblemente porque hayan realizado la práctica del encalado, ya que es común en el manejo de suelos ácidos.

Cuadro 15. Distribución del suelo según la saturación de aluminio en el valle del Bolsón Inka Cuchara.

Saturación de Al (%)	Frecuencia	Porcentaje (%)
[0.00 - 11.33>	9	32.00
[11.33 - 22.66>	4	14.00
[22.66 - 34.00>	5	18.00
[34.00 - 45.33>	1	4.00
[45.33 - 56.66>	4	14.00
[56.66 - 67.99]	5	17.00
Total	28	100%

\bar{X} = 29.14 C.V (%) = 75.54

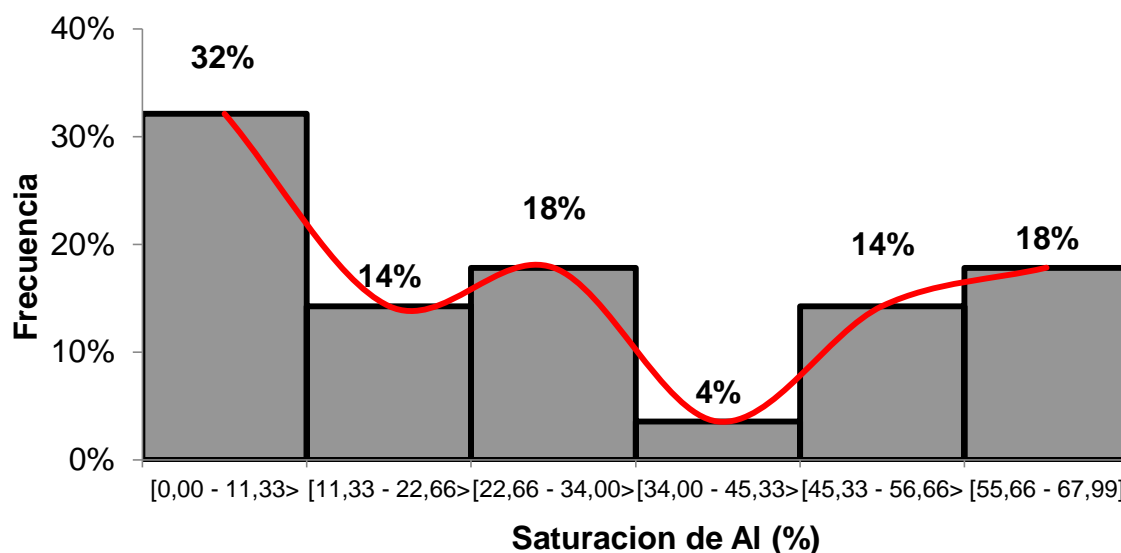


Figura 14. Histograma de la distribución del suelo según la saturación de aluminio (%) en el valle del Bolsón Inka Cuchara.

4.3. Propiedades biológicas del suelo

4.3.1. Abundancia de lombrices/m²

En el Cuadro 16, se muestra la distribución del suelo según el número lombrices/m², donde el 32.14 % de los suelos alcanzaron valores mayores o iguales a 0.00 pero menores a 72 lombrices/m², considerados muy bajos, y solo el 10 % de los suelos comprendieron valores entre 360 - 432 lombrices/m². El promedio general fue de 165 lombrices/m², con un coeficiente de variabilidad de 74.70 %, considerado muy variable.

Las lombrices de tierra se distribuyen en todo tipo de ecosistemas, siendo su principal limitante la humedad del suelo (FRAGOSO y ROJAS, 2014), y la perturbación de los suelos a través del manejo del cultivo. Por ejemplo, CERDA (2008) encontró en el valle de Talamanca-Costa Rica en los suelos cacaoteros 38 ind/m², justificando estos resultados por el nivel de perturbación del medio edáfico, debido a la intensidad de uso de la tierra (CABRERA, 2012),

mientras que, VILLANUEVA (2015), en el Distrito de José Crespo y Castillo halló en sistemas agroforestales 262 ind/m² en contraste con un bosque natural con 699 ind/m². Con respecto a los valores encontrados en este estudio, podemos decir que la variación de los resultados de debió al manejo del cultivo, factores edafoclimáticos y la época de evaluación. Respecto a este último, CONTRERAS (2009), menciona que “la actividad biológica se reduce o detiene si el suelo se torna muy frío o seco, la fauna edáfica, la temperatura y la humedad varían con las estaciones”.

FEIJOO *et al.* (2004), consideran que las lombrices son bioindicadores de señales tempranas de trayectorias de degradación, o de recuperación de los suelos. También son indicadoras de la fertilidad natural del suelo, juegan un papel clave durante la fase activa de vermicompostaje acelerando la descomposición de la materia orgánica (GÓMEZ, 2011), modifican la circulación de los nutrimentos de la materia orgánica, alteran la estructura del suelo con su actividad cavadora y producción de heces al interior y exterior del suelo.

Cuadro 16. Distribución del suelo según el número de lombrices/m² en el valle del Bolsón Inka Cuchara.

Lombrices/m ²	Frecuencia	Porcentaje (%)
[0 - 72>	9	32.14
[72 - 144>	5	17.86
[144 - 216>	5	17.86
[216 - 288>	4	14.29
[288 - 360>	2	7.14
[360 - 432]	3	10.71
Total	28	100%

\bar{X} = 165 C.V (%) = 74.70

En la Figura 15, se muestra el promedio de lombrices/m² en las diez localidades del Valle Bolsón Inka Cuchara, donde la localidad de Capitán Soto presentó 282.67 lombrices/m², posiblemente obedezca al contenido de materia orgánica, humedad del suelo y la época de evaluación.

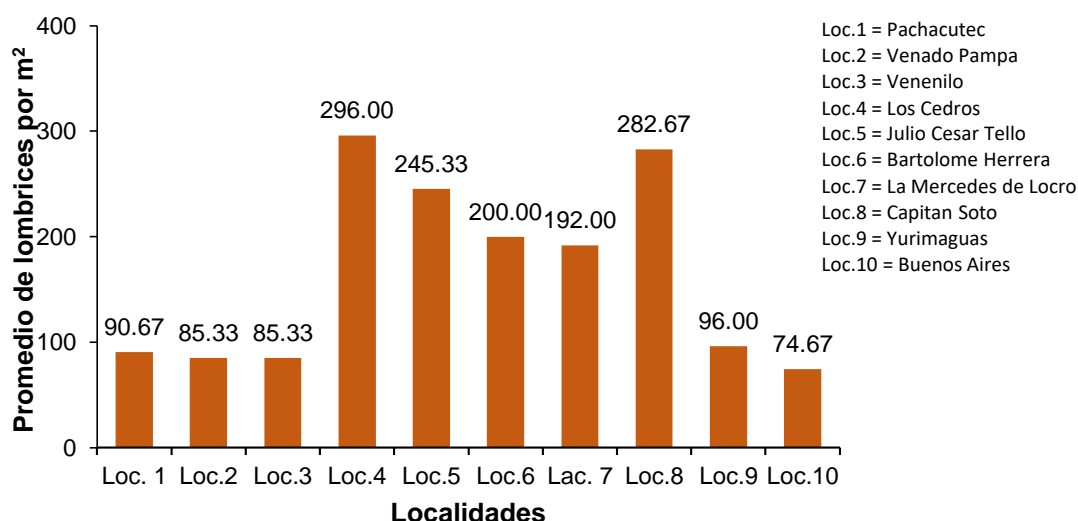


Figura 15. Promedio de lombrices/m² en diez localidades del valle Bolsón Inka Cuchara.

4.4. Índice de diversidad de Shannon-Wiener de las arvenses

En el Cuadro 17, se muestra la distribución del índice de diversidad de Shannon-Wiener de las arvenses, donde el menor porcentaje (7.14 %) comprendieron valores entre 1.33 a más y a menos de 1.56 nats/ind, mientras que, el mayor porcentaje (92.86 %) presentaron valores entre 1.56 - 2.69 nats/ind. Con un promedio general de 2.13 nats/ind y un coeficiente de variabilidad de 15.39 %, considerado como bueno.

Cuadro 17. Distribución del Índice de diversidad de Shannon-Wiener de las arvenses en el valle del Bolsón Inka Cuchara.

Índice de Shannon – Wiener			Frecuencia	Porcentaje (%)
[1.33	-	1.56>	2	7.14
[1.56	-	1.78>	2	7.14
[1.78	-	2.01>	6	21.43
[2.01	-	2.23>	5	17.86
[2.23	-	2.46>	9	32.14
[2.46	-	2.69]	4	14.29
Total			28	100 %

$$\bar{X} = 2.13 \quad CV (\%) = 15.39$$

Los valores que se obtienen generalmente para el índice de Shannon-Wiener están entre 1.5 - 3.5 nats/ind, y raramente sobrepasan los 4.5 nats/ind, la función tendrá un valor mínimo cuando todos los individuos pertenecen a una misma especie y un valor máximo cuando todas las especies tengan la misma cantidad de individuos (ÑIQUE, 2010). Este comportamiento se vio reflejado en el 92.86 % de los suelos donde comprendieron valores a partir de 1.56 hasta 2.69 nats/ind. Un estudio realizado por VITTA *et al.* (2005), reportaron la diversidad de plantas herbáceas en áreas de influencia agrícola, donde registraron una escala de valores de 1.09, 1.51, 1.76 y 1.96 nats/ind, considerados relativamente homogéneas, dichos valores son similares a lo registrado en este estudio, debido a la influencia agrícola.

Desde el punto de vista agrícola, las arvenses constituyen especies de plantas que al convivir en competencia con cultivos económicos deterioran sensiblemente sus rendimientos (BLANCO y LEYVA, 2010), las arvenses son consideradas un problema difícil de controlar en los cultivos debido a su gran resistencia a los agroquímicos (AMAYA *et al.*, 2018), la competencia por la luz,

los nutrientes y el agua es una de las vías para interferir con el crecimiento normal de los cultivos. Las arvenses aparecen en un complejo mixto de especies que permanecen en equilibrio hasta que el ecosistema es afectado por prácticas de labranza u otras medidas agronómicas, como la fertilización, aplicación de plaguicidas químicos e irrigación (FAO, 2017). Las características reproductivas de las arvenses determinan la importancia de cada especie dentro del área donde se establecen (VERA *et al.*, 2018). La propagación se puede realizar de forma sexual (semillas botánicas) o asexual (material vegetal).

En cuanto a la composición de las arvenses se censaron un total de 33 familias en las áreas en estudio, donde predominaron las Poaceae, Asteraceae y Cyperaceae (Cuadro 22 y 23 del Anexo). La familia Poaceae es el grupo florístico más característico en un agrosistema seguido de las asteráceas (GÁMEZ *et al.*, 2014). Un estudio realizado por AMAYA *et al.* (2018), encontró que la familia Poaceae tuvo la mayor dominancia en los sistemas agrícolas, la predominancia de esta maleza se debe a su reproducción mediante estolones y semillas lo que ha permitido poblar nuevas áreas de influencia agrícola, además de su rizoma que le permite sobrevivir alrededor de siete meses durante épocas de sequía. En sistemas agrícolas la predominancia de la familia asterácea puede llegar hasta un 37 % de la población total de malezas, debido a que presentan órganos de dispersión anemófila, posibilitando una mayor dispersión de sus semillas y por ello facilitando colonizar más rápido los diferentes ambientes (MARCHIORI y INZE, 2015). Las condiciones edafoclimáticas, las prácticas agrícolas y las características bioecológicas de las plantas arvenses favorecen la dominancia y dispersión de las familias asteráceas (REQUEJO, 2014).

En la Figura 16 se observa el índice de diversidad Shannon-Wiener de las arvenses en las diez localidades del Valle Bolsón Inka Cuchara, según los resultados obtenidos podemos decir que todas las localidades presentaron valores dentro del rango establecido por ÑIQUE (2010).

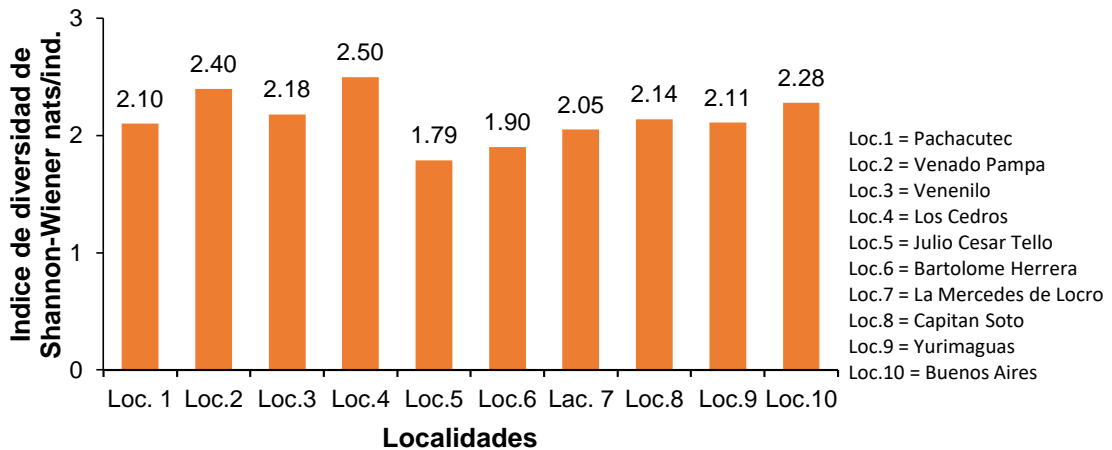


Figura 16. Promedio del Índice de diversidad de Shannon-Wiener de las arvenses en diez localidades del Valle Inka Bolsón Cuchara.

En las localidades de Yurimaguas y Buenos Aires un mayor número de especies presentaron las familias Poaceae y Asteraceae (Figura 17). En la localidad de Pachacútec también destacó la familia Poaceae, además de la familia Solanaceae (Figura 18A). Para la localidad de Venenillo, se observó que las familias Poaceae, Piperaceae y Phyllanthaceae fueron las que presentaron mayor número de especies (Figura 18B), similar a los resultados de la localidad de Los Cedros, respecto a la predominancia de la familia Poaceae (Figura 18C), asimismo en la localidad de Venado Pampa la familia predominante fue Poaceae, juntamente con las familias Cyperaceae, Fabaceae y Solanaceae (Figura 18D). En la localidad de Julio Cesar Tello las familias Cyperaceae y Morfoespecie NN 1 presentaron mayor predominancia (Figura 19A). En la

localidad de Bartolomé Herrera destacaron las familias Asteraceae, Poaceae, Convolvulaceae y Malvaceae (Figura 19B), igual comportamiento dominante de la familia Asteraceae se observó en la localidad de Mercedes de Locro (Figura 19C) y Capitán Soto, además de la familia Poaceae para este último (Figura 19D).

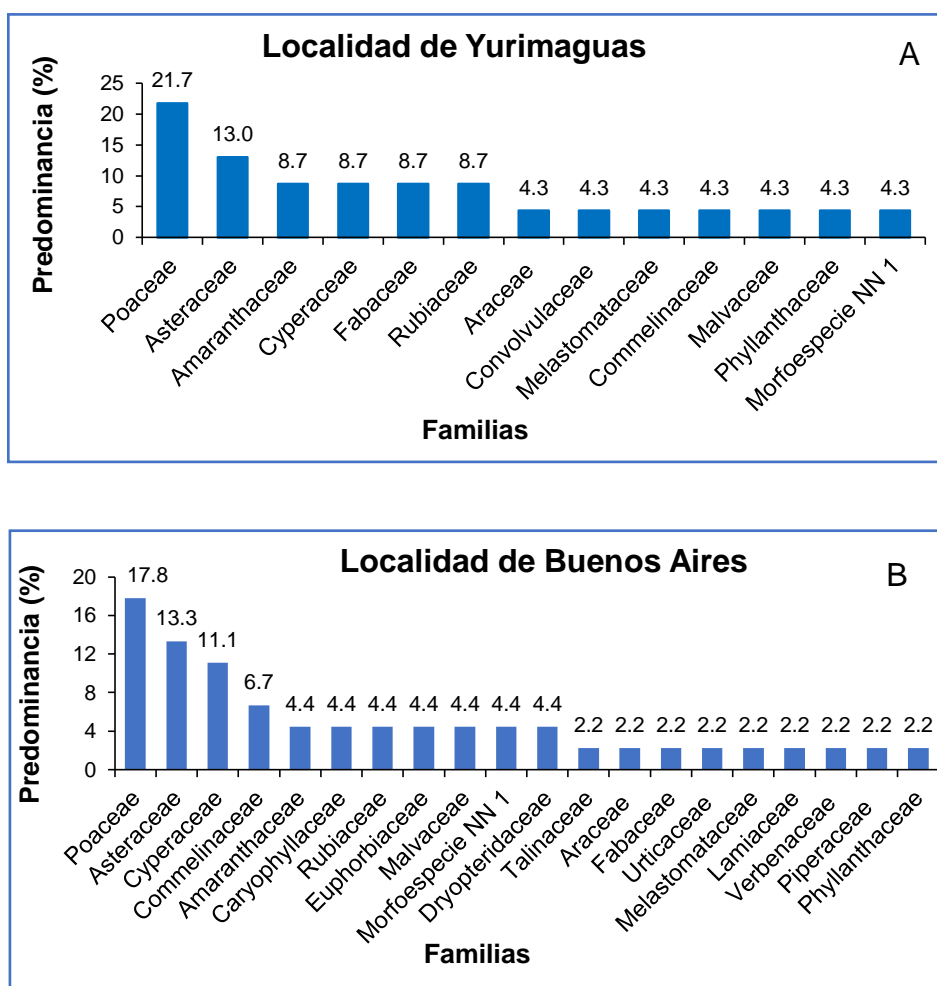


Figura 17. Predominancia de las familias arvenses en las localidades de Yurimaguas (A) y Buenos Aires (B).

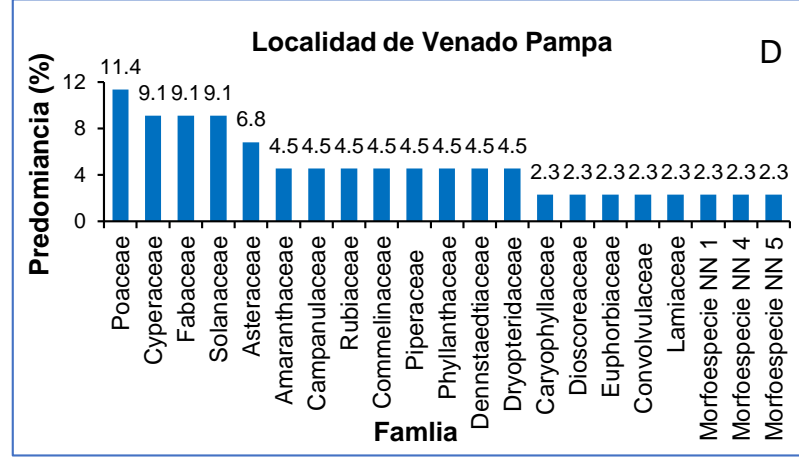
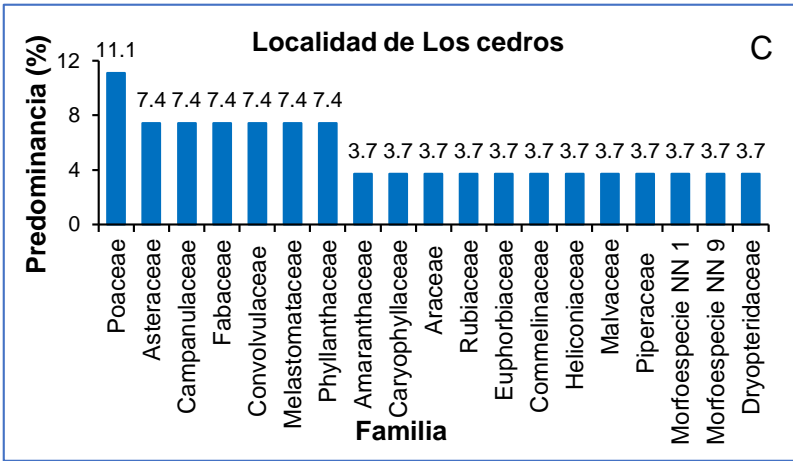
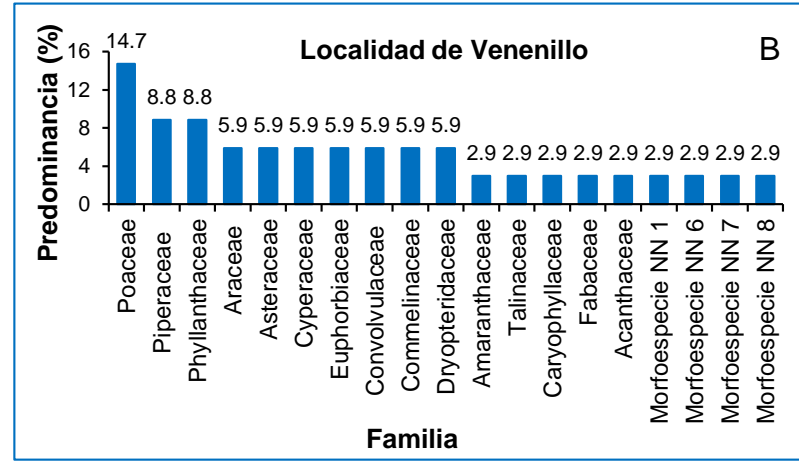
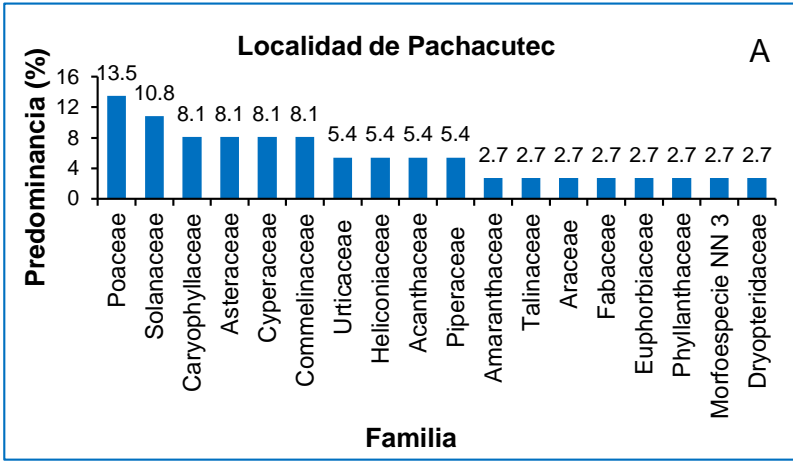


Figura 18. Predominancia de las familias arvenses en la localidad Pachacutec (A), Venenillo (B), Los Cedros (c) y Venado Pampa (D).

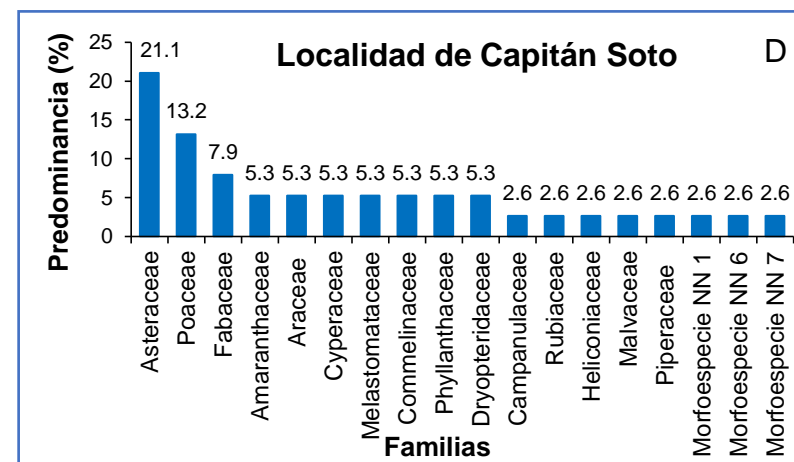
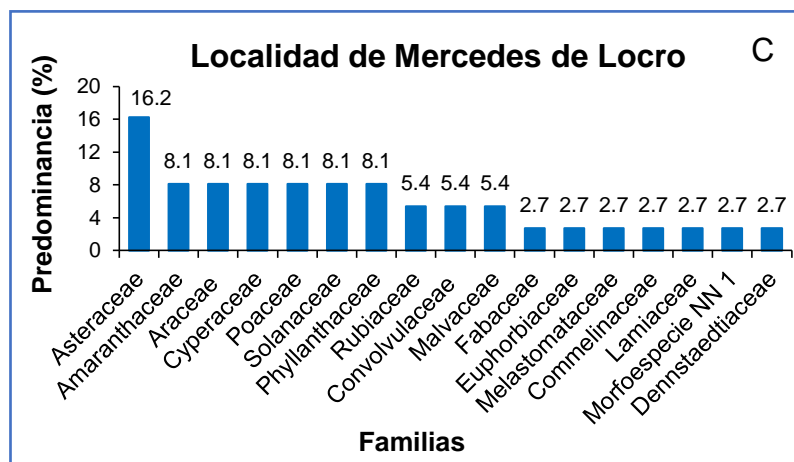
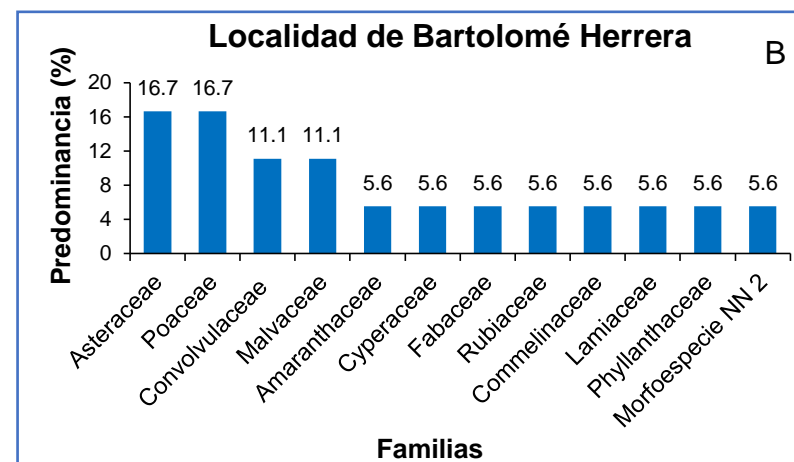
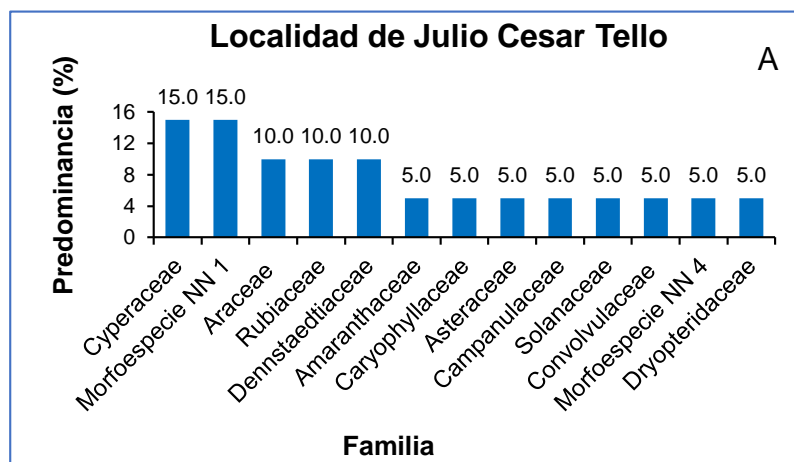


Figura 19. Predominancia de las familias arvenses en la localidad Julio Cesar Tello (A), Bartolomé Herrera (B), Mercedes de Locro (C) y Capitán Soto (D).

4.5. Rendimiento del cultivo de cacao CCN-51

En el Cuadro 18 y Figura 20, se observa la distribución del rendimiento de cacao, donde se puede encontrar que un 78.57 % de parcelas de cacao tuvieron rendimientos mayores o iguales a 115.0 kg/ha pero menores a 507.3 kg/ha y el 21.43 % valores entre 507.3 kg/ha - 899.5 kg/ha; con un coeficiente de variabilidad de 53.34 % (resultado muy variable) y un promedio general de 409.19 kg/ha. El rendimiento promedio de cacao obtenido se encuentra por debajo del rendimiento promedio nacional de 851 kg/ha y de la región Huánuco con 639 kg/ha (MINAGRI, 2017). Los valores obtenidos presentaron un alto grado de variabilidad (53.34 %), las variaciones en la producción entre parcelas se asocian a las diferencias en la edad de las plantaciones, densidad de siembra, en el manejo y tipo de cacao cultivado (VERA *et al.*, 2000), así mismo por las diferentes características del suelo (bajos niveles de nutrientes, pH ácidos, toxicidad del aluminio), considerando que el principal clon cultivado en la zona de estudio es el CCN-51 quien posee un rendimiento de 2 760 kg/ha (GARCÍA, 2010).

POCOMUCHA (2016), encontró un rendimiento de cacao entre 100.00 a 1500.00 kg/ha, con un promedio de 489.17 kg/ha para el distrito de José Crespo y Castillo; menor al rendimiento promedio registrado en la zona de estudio. También estudios hechos en San Martín muestran diferencias en el rendimiento de cacao según el sistema de producción, en un sistema de producción convencional con plantaciones policlonales (963.46 kg/ha); en fincas de producción orgánica donde predominan plantaciones híbridas asociadas con

CCN-51 (623.40 kg/ha) y plantaciones monoclonales de CCN-51 (933.20 kg/ha) (TUESTA *et al.*, 2014).

La producción de cacao presenta problemas de enfermedades, manejo de sombra, manejo de malezas, manejo de poda, créditos para el manejo del cultivo, comercialización, poca extensión de terrenos y productores de escasos recursos (GUILTINAN y MAXINOVA, 2002). Es por ello que la baja productividad del cultivo de cacao en las parcelas estudiadas se debe principalmente al manejo poco tecnificado, reflejado en las características del suelo textura, $\text{pH} < 5.5$, bajos contenidos de materia orgánica, fósforo, potasio y saturación de aluminio; así mismo por problemas fitosanitarios como la incidencia del mazorquero del cacao, insecto plaga que ha adquirido gran importancia desde fines del 2015 al causar el deterioro de los granos en las mazorcas cosechadas y reducir los rendimientos (CABEZAS *et al.*, 2018). La necesidad de obtener ingresos a corto plazo y el uso de tecnologías inapropiadas por los agricultores, viene ocasionando la pérdida de recursos especialmente suelo y vegetación (MERMA y JULCA, 2012). Si se desea aumentar el rendimiento de las plantaciones de cacao del área de estudio, se deben mejorar los contenidos N, P y K, además de encalar para corregir la acidez del suelo y reducir la toxicidad de Al, e incrementar la CIC y los cationes cambiabiles; juntamente con un adecuado manejo fitosanitario. Por tanto, es necesario mantener la reserva de nutrientes en el suelo y no solo depender de una fertilización inorgánica. BARREZUETA (2018), indica un rendimiento de cacao CCN-51 que oscila entre 2 570.24 kg/ha a 4 158.34 kg/ha para Ecuador, donde

el mayor rendimiento está asociado a los suelos que presentan más altos valores nutrimentales.

Cuadro 18. Distribución del rendimiento del cultivo cacao en el valle del Bolsón Inka Cuchara.

Rendimiento (kg/ha)	Frecuencia	Porcentaje (%)
[115.0 - 245.8>	7	25.00
[245.8 - 376.5>	8	28.57
[376.5 - 507.3>	7	25.00
[507.3 - 638.0>	1	3.57
[638.0 - 768.8>	1	3.57
[768.8 - 899.5]	4	14.29
Total	28	100%

\bar{X} = 409.19 C.V. (%) = 53.34

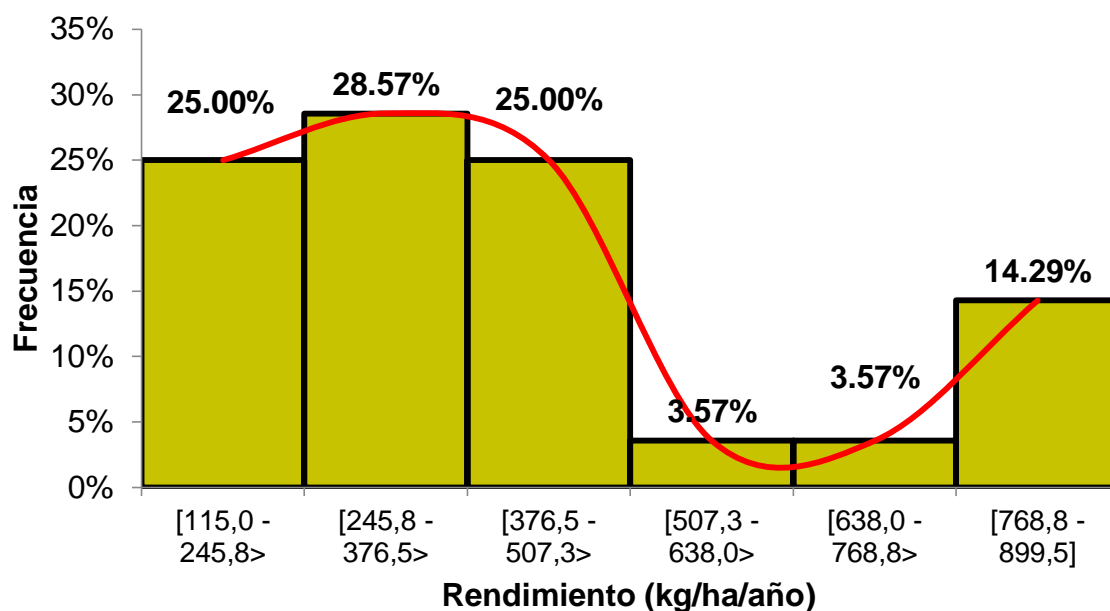


Figura 20. Histograma de la distribución del rendimiento de cacao (kg/ha) en el valle del Bolsón Inka Cuchara.

4.6. Correlación de Pearson

4.6.1. Relación de las propiedades del suelo con el rendimiento del cultivo de cacao CCN-51.

En el Cuadro 19, se presenta el análisis de correlación, donde se observa que el rendimiento del cacao (kg/ha) esta correlacionada positiva y altamente significativa con el porcentaje de arena, más con el porcentaje de arcilla presenta una relación significativa e inversa. Dentro de las variables con correlación débil la densidad aparente exhibe un mayor coeficiente de correlación.

Cuadro 19. Coeficientes de correlación del rendimiento de cacao (kg/ha).

Variables dependientes	Variables independientes		
	Densidad	% Arena	% Arcilla
Rendimiento (kg/ha)	0.332	0.618**	- 0.475*

** La correlación es significativa en el nivel 0.01 (bilateral).

* La correlación es significativa en el nivel 0.05 (bilateral).

Realizado el análisis de regresión lineal múltiple con las variables, se determinó el siguiente modelo matemático: rendimiento del cacao (kg/ha) = 125.808 + 10.904 Arena, y análisis de varianza se presenta en el Cuadro 24 del anexo, con un coeficiente de determinación de $r^2 = 0.349$ y un coeficiente de correlación $r = 0.591$.

Las características de la arena permiten la infiltración rápida a través de sus grandes poros continuos (GÓMEZ *et al.*, 2014), a diferencia de las arcillas que presentan microporos que dificultan el rápido movimiento del agua (PAREDES, 2003). Es conveniente que los suelos posean contenidos de arena adecuados para un rápido movimiento del agua y así evitar que formen charcos,

considerando que en el valle de Bolsón Inka Cuchara la precipitación media acumulada anual es 3 472.8 mm.

V. CONCLUSIONES

1. La relación de las propiedades del suelo con respecto al rendimiento del cultivo cacao se determinó mediante el siguiente modelo matemático: R_{to} (kg/ha) = 125.808 + 10.904 arena, mientras que, la diversidad de arvenses no presentó modelo matemático.
2. De acuerdo con las propiedades físicas en su mayoría los suelos fueron de característica arcillosa, con un promedio de densidad aparente de 1.22 g/cm³, porosidad 53.97 % y velocidad de infiltración 7.24 cm/h. Con respecto a las propiedades químicas los suelos evidenciaron pH ácidos, bajos niveles de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, CIC, calcio y magnesio; toxicidad de aluminio, mientras que, en las propiedades biológicas se encontró un promedio de 165 lombrices/m².
3. Las parcelas presentaron un alto índice de diversidad de Shannon-Wiener para las arvenses asociadas al cultivo de cacao, con un promedio de 2.13 nats/ind.
4. El rendimiento promedio del cultivo de cacao CCN-51 en el valle del Bolsón Inka Cuchara fue 409.19 kg/ha.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar trabajos de investigación en otros clones de cacao para determinar la relación de las propiedades del suelo frente a las características agronómicas.
- Evaluar la abundancia y diversidad de las arvenses en las diferentes etapas fenológicas del cacao en otras regiones.

VII. RESUMEN

El presente trabajo se llevó a cabo en el valle Inka Bolsón Cuchara, provincia de Leoncio Prado, de la región de Huánuco en las áreas de influencia de productores de cacao. Con el objetivo de evaluar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en relación con la diversidad de arvenses y el rendimiento del cultivo de cacao CCN-51. Para determinar el grado de correlación y modelo matemático se utilizó el programa libre SPSS21.

Donde se llegó a las siguientes conclusiones: i) La relación de las propiedades del suelo con respecto al rendimiento del cultivo cacao se determinó mediante el siguiente modelo matemático: $R_{to} \text{ (kg/ha)} = 125.808 + 10.904 \text{ Arena}$, mientras que, la diversidad de arvenses no presentó modelo matemático. ii) De acuerdo con las propiedades físicas en su mayoría los suelos fueron de característica arcillosa, con un promedio de densidad aparente de 1.22 g/cm^3 , porosidad 53.97% y velocidad de infiltración 7.24 cm/h . Con respecto a las propiedades químicas los suelos evidenciaron pH ácidos, bajos niveles de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, CIC, calcio y magnesio; toxicidad de aluminio, mientras que, en las propiedades biológicas se encontró un promedio de $165 \text{ lombrices/m}^2$. iii) Las parcelas presentaron un alto índice de diversidad de Shannon-Wiener para las arvenses asociadas al cultivo de cacao, con un promedio de 2.13 nats/ind . iv). El rendimiento promedio del cultivo de cacao CCN-51 en el valle del Bolsón Inka Cuchara fue 409.19 kg/ha .

VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. ÁLVAREZ R., C. y RIMSKI-KORSAKOV, H. 2016. Manejo de la fertilidad del suelo en planteos orgánicos. Edit. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. 167 p.
10. CABRERA G. 2012. La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo. Resultados obtenidos en Cuba. Pastos y Forrajes. Cuba. 35(4):349-364.
11. CAMPOS V, S. 2019. Calidad de suelo del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en diferentes edades sector Ventenjebe distrito y provincia Tocache- San Martín. Tesis. Ing. Conservación de suelos y agua. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Perú. 102 p.
12. CARRIÓN S, J. 2012. Estudio de la factibilidad para la producción y comercialización de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad CCN-51, Jana, Manabi. Tesis. Ing. Agrónomo. Universidad San Francisco de Quito. Ecuador. 65 p.
13. CARTER, M. R. 2002. Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. Agron. J. 94: 38-47.
14. CASTELLANOS N, A.; CHOCOBAR G, A.; COX, R.; FONTAYNE, S.; GOVAERTS, B.; JESPER, N.; JIENLE, N.; SAYRE, K y VERHULST. 2013. Infiltración: Guía útil para comparar las prácticas de manejo del cultivo. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). México. 8 p.

15. CERDA B, R. 2008. Calidad de suelos en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.), banano (*Musa* AAA) y plátano (*Musa* AAB) en el valle de Talamanca, Costa Rica. Tesis Maestría. Agricultura Ecológica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Costa Rica. 66 p.
16. CONTRERAS P, E. 2009. Efecto de la pulpa de café y la fertilización química en el rendimiento y en la macrofauna edáfica del cultivo de café (*Coffea arabica* L.). Tesis. Ing. Agrónomo. Tingo María, Perú. 104 p.
17. DOMÍNGUEZ, J.; AIRA, M. y GÓMEZ B, M. 2009. Papel de las lombrices de tierra en la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes. Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente. España. 18(2): 20-31.
18. FEIJOO M, A.; QUINTERO V, H.; FRAGOSO C. y MORENO A. 2004. Patrón de distribución y listado de especies de las lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta) en Colombia. Acta Amazónica Mexicana. Colombia. 20(2): 197-220.
19. FERNÁNDEZ, M. 2007. Fósforo: amigo o enemigo. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar 41(2):51-57.
2. AMAYA W, A.; SANTOS, M.; MORÁN, I.; VARGAS, P.; COMBOZA, W. y LARA, E. 2018. Malezas presentes en cultivos del Cantón Naranjal, provincia Guayas, Ecuador. Investigatio. N°. 11. 15 p.
20. FERREYRA E, R. y SELLES V, G. 2013. Manual de riego para especies frutales. [En línea]: Biblioteca INIA (<http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR39147.pdf>, (Consultado el 30 de noviembre del 2020).

21. FAO. 2017. Recomendaciones para el manejo de malezas. Food and Agriculture Organization. [En línea]: <http://www.fao.org/3/a0884s/a0884s.pdf>, (Consultado el 04 de octubre de 2019)
22. FRAGOSO, C. y ROJAS, P. 2014. Biodiversidad de lombrices de tierra (Annelida: Oligochaeta: Crassiclitellata) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. México. Supl. 85:197-207
23. FURCAL B, P. 2017. Extracción de nutrientes por los frutos de cacao en dos localidades en Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*. Costa Rica. 28(1):113-129.
24. GÁMEZ, A.; DE GUAVEIA, M.; ÁLVAREZ, W, y PÉREZ H. 2014. Flora arvense asociada a un agroecosistema tipo conuco en la comunidad de Santa Rosa de Ceiba Mocha en el Estado de Guárico. *Bioagro. Venezuela*. 26(3):177-182.
25. GARCÍA C, L. 2010. Catálogo de cultivares de cacao en el Perú. [En línea]: http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manuales-boletines/cacao/catalogo_cultivares_cacao.pdf, (Consultado el 24 de setiembre de 2019).
26. GARCÍA H, M.; GARCÍA H, M.; CASTELLANOS V, I.; CANO S, Z. y PELÁEZ R, C. 2007. Variación de la velocidad de infiltración media en seis ecosistemas inalterados. *Tierra Latinoamericana*. 26(1):21-27.
27. GIRALDO RAMÍREZ D. A., VALENCIA ANDRADE D. A., y MEZA SEPÚLVEDA D. C. 2018. Análisis comparativo del estudio fisicoquímico de suelos con plantación de *Theobroma Cacao* L. en

zonas específicas de los municipios de Belén de Umbría, Saralda y Belalcázar-Caldas. Suelos Ecuatoriales. 1 y 2 (48):57-63.

28. GÓMEZ B, M. 2011. Efecto de las lombrices de tierra en la estructura y función de las comunidades microbianas en el proceso de descomposición de la materia orgánica. Ecosistemas. España. 20(1):155-162.
29. GÓMEZ C, G.; MUNIVE C, R.; MALLMA C, T. y ORIHUELA V, C. 2014. Evaluación de la tasa de infiltración en tierras agrícolas, forestales y de pastoreo en la subcuenca del río Shullcas. Apuntes de Ciencia y Sociedad. Perú. 4(1):32-43.
3. ANDRADES, M. y MARTÍNEZ, E. 2014. Fertilidad del suelo y parámetros que la definen. 3ra Edición. Universidad de La Rioja. 34 p.
30. GONZALES G, R.; ÁLVAREZ A, E. y CASTAÑEDA S, D. 2018. Evaluación de la calidad química del suelo en agroecosistemas cacaoteros de la subregión del Noroeste y Urabá Antioqueño. Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales. Colombia. 5(1):41-52.
31. GUILTINAN, M. y MAXINOVA, S. 2002. The Penn State Program in the Molecular Biology of Cacao. United States Department of Agriculture (USDA). 7 p.
32. GUZMÁN R, G. y LEVY M, A. 2009. Producción de biomasa y nutrientes que genera la poda en sistemas agroforestales sucesiones y tradicionales con cacao, Alto Beni, Bolivia. Acta Nova (Número especial: 1er Congreso Nacional de Sistemas Agroforestales); Vol. 4, N° 2-3.

33. HARTEMINK, A. E. 2005. Nutrient stocks, nutrient cycling, and soil changes in cocoa ecosystems: a review. *Avances en agronomía*. 86: 227-253.
34. HUAMANI Y, H.; HUAUYA R, M.; MANSILLA M, L.; FLORIDA R., N y NEIRA T, G. 2012. Presencia de metales pesados en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) orgánico. *Acta agronómica*. Colombia. 61(4): 339-344.
35. JARA S., R. 2016. Almacenamiento de carbono en el suelo en dos tipos de sistemas agroforestales cacao (*Theobroma cacao* L.) y café (*Coffea arabica* L.) en Hermilio Valdizán. Tesis Ing. Conservación de suelos y agua. UNAS, Tingo María. 87 p.
36. JARAMILLO J, D. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de ciencias. Medellín. 619 p.
37. LAO O, C. 2017. Fracciones de carbono orgánico lábil en los suelos de la amazonia peruana bajo diversos sistemas de uso. Tesis. Magister. Scientiae en suelos. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima-Perú. 73 p.
38. MARCHIORI, A. e INZE, J. 2015. Diversidad de malezas otoño invernales asociadas a cultivos de soja y maíz en la región centro-noreste de Córdoba. Trabajo Académico Integrador. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina. 38 p.
39. MARTÍN N. y PÉREZ G. 2009. Evaluación agroproductiva de cuatro sectores de la provincia de Pastaza en la Amazonía ecuatoriana. [En línea]: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362009000100003, (Consultado el 28 de agosto de 2019).

4. ARÉVALO G, E. 2014. Dinámica de los indicadores de calidad del suelo en el manejo de sistemas agroforestales con cacao. Tesis Doctorado en Agricultura sustentable. Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima. 155 p.
40. MARTÍNEZ H, E.; FUENTES E, J. y ACEVEDO H, E. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal. Santiago de Chile. 8(1): 68-96.
41. MARTÍNEZ U, D. 2019. Relación de la Macrofauna con las propiedades del suelo en diferentes sistemas de uso, distrito Monzón, provincia de Huamalíes. Tesis Ing. en Conservación de suelos y agua. UNAS, Tingo María. 119 p.
42. MERMA, I. y JULCA, A. 2012. Caracterización y evaluación de la sustentabilidad de fincas en el Alto Urubamba, Perú. Ecología Aplicada. 11(1): 1-11.
43. MINAGRI. 2016. Estudio del cacao en el Perú y en el mundo. (Ministerio de Agricultura y Riego). 90 p.
44. MINAGRI. 2017. Análisis de la cadena productiva del cacao. (Ministerio de Agricultura y Riego). 84 p.
45. MINAGRI. 2018. Análisis de la cadena productiva del cacao: con enfoque en los pequeños productores de limitado acceso al mercado. (Ministerio de Agricultura y Riego). [En línea]: http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/tematicas/f-taxonomia_plantas/f01-cultivo/2018/cadena_cacao_nov188.pdf, (Consultado el 18 de setiembre de 2019).

46. MORENO, M.; PIRELA, H.; MEDINA, M.; MOLINA, N.; POLO, V. y URDANETA, M. 2013. Evaluación de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos cultivados con cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Sierra de Perijá. Ciencias del Agro, Ingeniería y Tecnología. 4(8):8-28.
47. NAVARRO G. y NAVARRO, S. 2000. Química agrícola/ química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas. Tercera edición. Editorial Mundi - Prensa. Madrid, España. 491 p.
48. NAZAR J. 2010. Efecto de la dolomita en el crecimiento del *Theobroma cacao* L. (Clon CCN- 51) en un suelo ácido bajo condiciones de vivero, en Tingo María. Tesis Ing. en Recursos naturales renovables. Mención Conservación de Suelos y Agua. UNAS, Tingo María. 64 p.
49. NOVILLO E., I.; CARRILLO Z., M.; CARGUA C., J. NABEL M., V. ALBÁN S., K. y MORALES I., F. 2018. Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos, Ecuador. Temas Agrarios 23 (2):177-187.
5. ARÉVALO G, E.; OVANDO C, M.; ZÚÑIGA C, L.; ARÉVALO H, C.; VIRUPAX B y ZHENGLI HE. 2016. Metales pesados en suelos de plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en tres regiones del Perú. Ecología Aplicada. Perú.15(2):81-89.
50. ÑIQUE A, M. 2010. Manual: biodiversidad - clasificación y cuantificación. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 17 p.
51. OLOLADE I., A.; AJAYI I., R.; GBADAMOSI A., E.; MOHAMMED O., Z. y SUNDAY A., G. 2010. A Study on Effects of Soil Physico-Chemical

- Properties on Cocoa Production in Ondo State. *Modern Applied Science*. 4(5): 35-43.
52. OSORIO, N. 2012. pH del suelo y la disponibilidad de nutrientes. [En línea]: <https://www.bioedafologia.com/sites/default/files/documentos/pdf/pH-del-suelo-y-nutrientes.pdf>, (Consultado el 17 de setiembre de 2019).
53. PAREDES A, M. 2003. Manual del cultivo de cacao. [En línea]: http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manuales-boletines/cacao/manual_cultivo_cacao_2003.pdf, (Consultado el 30 de setiembre de 2019).
54. PEÑA U, D. 2017. Identificación de áreas potenciales para el cultivo de cacao en Honduras y propuesta de programa de fertilización. [En línea]: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6019/1/CPA-2017-081.pdf>, (Consultado el 28 de agosto de 2019).
55. POCOMUCHA S., V.; ALEGRE, J. y ABREGÚ, L. 2016. Análisis socio económico y carbono almacenado en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Huánuco. *Ecología Aplicada*. 15(2): 107-114.
56. QUINTEIRO M., FURTADO A., SCHRAMM, M., PINTO F., VIANA M., y BALIGAR V. C. 2013. Aluminum effects on growth photosynthesis and mineral nutrition of cacao genotypes. *Journal of Plant Nutrition*, 36(8): 1161-1179.
57. REQUEJO G, L. 2014. Comparación de tres métodos de control malezas (manual, mecánico y químico) en el cultivo de cacao (*Theobroma*

- cacao L.). Tesis. Ing. Agrónomo. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Perú. 96 p.
58. ROSAS P., G.; PUENTES P., Y. y MENJIVAR F., J. 2017. Relación entre el pH y la disponibilidad de nutrientes para cacao en un entisol de la Amazonia colombiana. *Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria*, Mosquera Colombia. 18(3): 529-541.
59. RUCKS, L.; GARCÍA, F.; KAPLÁN, A.; PONCE DE LEON, J. y HILL, M. 2004. Propiedades físicas del suelo. [En línea]: <http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>, (Consultado el 28 de agosto del 2019).
6. BARREZUETA U., S. 2018. Propiedades de algunos suelos cultivados con cacao en la provincia El Oro, Ecuador. *Ciencia UAT* [En línea]: <http://www.revistaciencia.uat.edu.mx/index.php/CienciaUAT/article/view/1210/611>, (consultado el 24 de septiembre del 2019).
60. RUIZ P, V. 2011. Efecto de la Dolomita en las Propiedades Físicas y Químicas del Suelo, en el Cultivo de Cacao (*Theobroma cacao* L.) Bajo Condiciones de Acidez, en Ricardo Palma-Naranjillo. Tesis Ing. En Recursos Naturales Renovables mención Conservación de suelos y agua. UNAS, Tingo María. 92 p.
61. SADEGHIAN K, S. 2012. Efecto de los cambios en las relaciones de calcio, magnesio y potasio intercambiables en suelos de la zona cafetera colombiana sobre la nutrición de café (*Coffea arábica* L.) en la etapa de almácigo. Tesis de Doctorado en Ciencias Agropecuarias-Área

- Agraria. Universidad Nacional de Colombia. Medellín - Colombia. 181 p.
62. SÁENZ D, L. 2011. Macrofauna y propiedades físico – químicas del suelo en sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao* L.) y bosques secundarios en el sur occidental de Guatemala. Tesis Bióloga. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. 77 p.
63. SALAMANCA J, A. y SADEGHIAN K, S. 2005. La densidad aparente y su relación con otras propiedades en el suelo de la zona cafetalera colombiana. Cenicafé. Colombia. 56(4): 381-397
64. SÁNCHEZ, A. 2009. Conductividad hidráulica en diferentes suelos en el departamento de Boaco. Tesis. Ing. Agrónomo. Universidad Nacional Agraria. Managua - Nicaragua. 66 p.
65. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2012. Subíndice de Uso Sustentable del Suelo – Metodología 78 de Cálculo. [En línea]: https://www.fao-evaluacion.org.mx/rn/ind_fin/suelos/Documento_metodologico_suelos_20121212.pdf, (Consultado el 17/09/2019).
66. STENBERG, M.; STENBERG, B. y RYDBERG, T. 2000. Efectos de la labranza y el encalado reducidos sobre la actividad microbiana y las propiedades del suelo en un suelo débilmente estructurado. *Ecología del suelo aplicada*, 14(2):135-145.
67. TOLEDO, M. 2016. Manejo de suelos ácido de las zonas altas de Honduras. [En línea]: <http://repositorio.iica.int/bitstream/11324/3108/1/BVE17069071e.pdf> (Consultado el 24/09/2019).

68. TUESTA H, O.; JULCA O., A.; BORJAS V.; R., RODRÍGUEZ Q., P. y SANTISTEVAN M., M. 2014. Tipología de fincas cacaoteras en la subcuenca media del río Huayabamba, distrito de Huicungo (San Martín, Perú). *Ecología Aplicada*, 13(2):71-78.
69. TUESTA S, M. 2015. Evaluación de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso en el distrito de nuevo progreso. Ing. Recursos Naturales Renovables, Mención Conservación de Suelos y Agua. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 94 p.
7. BLANCO, Y. y LEYVA, A. 2010. Abundancia y diversidad de especies de arvenses en el cultivo de maíz (*Zea mays*, L.) precedido de un barbecho transitorio después de la papa (*Solanum tuberosum* L.). *Cultivos tropicales*. Cuba. 31(2):12-16.
70. VÉLEZ R, J. 2018. Evaluación de la respuesta de cacao CCN-51 a plena exposición solar a las aplicaciones de Azufre (S) y Magnesio (Mg) en la zona de Zapotal, Provincia de Los Ríos. Tesis. Ing. Agrónomo. Universidad Técnica Estatal De Quevedo Facultad de Ciencias Agrarias Carrera de Ingeniería Agronómica. Ecuador. 80 p.
71. VERA, A. D.; PALACIOS, Z. M.; LIUBA, D. A.; SUAREZ, C .C y MENDOZA, H. C. 2018. Diversidad y análisis Fitoecológico de malezas en el cultivo de musáceas del Trópico ecuatoriano. *Agriscientia*. Ecuador. 35 (2): 43-52.
72. VERA, M.; ROSALES, H. y UREÑA, N. 2000. Caracterización físico- química de algunos suelos cacaoteros de la zona sur del lago de Maracaibo, Venezuela. *Geog. Venezuela*. 41(2): 257-270.

73. VILLANUEVA A, L. 2015. Comunidades de lombrices de suelo en diferentes sistemas de uso de suelo de la tierra, en el distrito de José Crespo y Castillo – Aucayacu. Tesis. Ing. Zootecnista. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María. Perú. 74 p.
74. VITTA, J.; ROSENSTEIN, S.; MONTERO, G.; TUESTA, D.; FACCINI, D.; LIETTI, M.; NISENSOHN, L.; PURICELLI, E y VIGNAROLI, L. 2005. La diversidad de malezas y artrópodos en el área de influencia de Zavalla y su relación con las estrategias productivas. Catedra de introducción a los sistemas de producción agropecuarios. Facultad de Ciencias Agrarias – Universidad Nacional de Rosario. Argentina. 5 p.
75. VOLVERÁS M, B. y AMÉZQUITA C, E. 2009. Estabilidad estructural del suelo bajo diferentes sistemas y tiempos de uso en laderas andinas de Nariño, Colombia. Revista Acta agronómica (Palmira). Colombia. 58(1):35-39.
76. WEBER, F. 2015. Una comparación entre los métodos del doble anillo y del simulador de lluvia en la medición de la capacidad de infiltración. Laboratorio de Hidráulica, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional. Córdoba, Argentina. 12 p.
77. YANG, M., TAN, L., XU, Y., ZHAO, Y., CHENG, F., YE, S., Y JIANG, W. 2015. Effect of Low pH and Aluminum Toxicity on the Photosynthetic Characteristics of Different Fast-Growing Eucalyptus Vegetatively Propagated Clones. Plos one.10 (6):1-15.

78. YAROS P, M. 2014. Evaluación del efecto de tres sistemas de uso de la tierra en las propiedades físicas, químicas y biológicas en el sector Naranjillo del distrito Padre Felipe Luyando. Ing. Recursos Naturales Renovables Mención Conservación de Suelos y Agua. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María - Perú. 116 p.
79. ZAPATA S, A. y MANZANO A, F. 2008. Influencia de seis especies arbóreas en la infiltración de agua en el suelo. *Agrociencia*. España. 42(7):835-845.
8. BRUSCHI G, R.; CHARTUNI M, E.; MOTA R, P. y ALVES D, R. 2005. Caracterización de suelos cultivados con café y el fertirriego con aguas residuales de la cría de porcinos. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*. Brasil. 14(2):49-57.
80. ZAVALA, W.; MERINO, E. y PELÁEZ, P. 2018. Influencia de tres sistemas agroforestales del cultivo de cacao en la captura y almacenamiento de carbono. *Revista Scientia Agropecuaria*. Perú. 9(4): 493-501.
81. ZRIBI, W.; FACI, J y ARAGÜÉS, R. 2011. Efectos del acolchado sobre la humedad, temperatura, estructura y salinidad de suelos agrícolas. *Separata Información Técnica Económica Agraria (ITEA)*. España. 107(2):148-162.
9. CABEZAS H., O; GIL, J. L.; GÓMEZ, R.; DÁVILA, C; MORÓN, S. y RAMÍREZ, C. 2018. Estado fitosanitario en la producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la región de Huánuco (Perú): incremento del impacto de *Carmenita foraseminis* Eichlin. [En línea]: <https://www.engormix.com/>

[agricultura/articulos/estado-fitosanitario-produccion-cacao-t42651.htm](#), (Consultado el 30 de noviembre del 2019).

IX. ANEXO



Figura 21. Instalación y nivelación de cilindros para evaluar la velocidad de infiltración.



Figura 22. Evaluación de la velocidad de infiltración.



Figura 23. Identificación de las arvenses.



Figura 24. Pesado de muestras de suelo.



Figura 25. Evaluación de la densidad aparente – método de la probeta.



Figura 26. Pesado de semillas de secas de cacao.



Figura 27. Muestras para análisis de suelos



Figura 28. Mapa de ubicación del Valle Inka Bolsón Cuchara.



Figura 29. Mapa del rendimiento de cacao y propiedades del suelo del Valle Inka Bolsón Cuchara.



N°	Localidad	Propiedades físicas					Propiedades químicas										Propiedades biológicas
		Da (g/cm ³)	Porosidad (%)	V.I. (cm/h)	Textura			pH	M.O. (%)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	CIC	Ca	Mg	Sat. Al (%)	Abundancia de lombrices (N°/m ²)
					Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)										
1	Pachacútec	1,18	48,80	4,35	11,63	32,99	55,39	5,31	2,02	0,09	8,33	106,87	4,39	3,27	0,86	5,23	90,67
2	Venado Pampa	1,15	50,76	10,80	18,96	36,32	44,72	5,31	1,81	0,08	7,86	99,00	7,34	4,93	0,89	17,10	85,33
3	Venenillo	1,22	49,59	3,25	40,96	25,65	33,39	5,70	1,86	0,08	6,98	88,55	8,60	6,46	1,45	7,85	85,33
4	Los Cedros	1,27	45,58	0,59	31,96	35,32	32,72	4,56	1,31	0,06	5,61	104,33	3,77	1,92	0,60	29,36	296,00
5	Julio Cesar Tello	1,18	49,59	4,02	20,96	45,65	33,39	4,27	2,37	0,11	4,93	101,37	6,81	2,01	0,64	58,32	245,33
6	Bartolomé Herrera	1,25	47,98	3,10	42,96	30,32	26,72	4,68	2,18	0,10	5,80	57,35	4,20	2,30	0,70	27,12	200,00
7	La Merced de Locro	1,21	47,51	13,72	31,96	31,32	36,72	4,49	1,28	0,06	6,43	92,90	5,97	2,61	0,79	37,48	192,00
8	Capitán Jose Soto Mejia	1,24	47,93	3,65	26,96	38,99	34,05	4,42	2,51	0,11	5,24	85,96	6,38	2,43	0,78	44,66	282,67
9	Yurimaguas	1,29	44,87	14,41	12,96	46,32	40,72	4,82	1,75	0,08	6,50	124,07	7,90	3,22	1,03	32,74	96,00
10	Buenos Aires	1,27	45,70	14,36	26,29	37,65	36,05	5,00	2,17	0,10	7,13	86,71	6,20	3,44	1,17	24,73	74,67

Figura 30. Mapa de la diversidad de arvenses y propiedades del suelo del Valle Inka Bolsón Cuchara.

Cuadro 20. Análisis de suelos 1.

		UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA																							
		AV. UNIVERSITARIA S/N - CARRETERA CENTRAL KM 1.21 - TINGO MARIA - CELULAR 941531359																							
		Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos																							
		analisisdesuelosunas@hotmail.com																							
		ANALISIS DE SUELOS																							
SOLICITANTE:						DEVIDA										BOLSON INKA CUCHARA									
N°	COD. LAB.	DATOS				ANALISIS MECANICO				pH	M.O.	N	P	K	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg						CICe	%		
		PROPIETARIO	REF.	CULTIVO	COMUNIDAD	Arena %	Arcilla %	Limo %	Textura							Ca	Mg	K	Na	Al	H		Bas. Camb.	Ac. Camb.	Sat. Al
1	S3222	JUAN ESTEBAN BERROSPI CERVANTES	M-007	CACAO	VENENILLO	31	30	39	Franco Arcilloso	4,97	2,28	0,10	5,52	53,73	----	5,26	1,18	--	--	0,48	0,02	6,94	92,80	7,20	6,91
2	S3223	PASCUAL UTIA LOZANO	M-008	CACAO	VENENILLO	41	36	23	Franco Arcilloso	4,89	2,22	0,10	5,14	73,97	----	4,28	1,13	--	--	1,10	0,10	6,61	81,85	18,15	16,63
3	S3224	MAXIMO CIERTO JAPA	M-009	CACAO	VENENILLO	51	10	39	Franco	7,24	1,07	0,05	10,29	137,94	###	9,84	2,05	0,35	0,01	--	--	--	100,00	0,00	0,00
4	S3225	HUGO CARLOS DOLORES VELASQUEZ	M-010	CACAO	LOS CEDROS	43	32	25	Franco Arcilloso	4,65	1,01	0,05	5,61	62,72	----	2,06	0,63	--	--	1,00	0,20	3,89	69,11	30,89	25,74
5	S3229	ELTON CABIA CHUQUIYURI	M-011	CACAO	LOS CEDROS	21	38	41	Franco Arcillo Limoso	4,47	1,61	0,07	5,61	145,94	----	1,78	0,56	--	--	1,20	0,10	3,64	64,27	35,73	32,98
6	S3230	ISAIAS TELLO HUERTAS	M-015	CACAO	BARTOLOME HERRERA	33	34	33	Franco Arcilloso	4,45	2,89	0,13	6,17	60,47	----	1,89	0,58	--	--	1,50	0,10	4,07	60,64	39,36	36,90
7	S3231	MARDONIA AGAMA VALDIVIA	M-016	CACAO	BARTOLOME HERRERA	53	26	21	Franco Arcillo Arenoso	4,90	1,48	0,07	5,43	54,23	----	2,71	0,82	--	--	0,75	0,05	4,33	81,51	18,49	17,33
8	S3226	PAULINA LIMAS BONIFACIO	M-012	CACAO	JULIO CESAR TELLO	23	40	37	Arcilloso	4,30	2,08	0,09	5,52	85,21	----	2,33	0,69	--	--	3,20	0,10	6,32	47,80	52,20	50,62
9	S3227	JUANA MAGUIÑA SANCHEZ	M-013	CACAO	JULIO CESAR TELLO	21	50	29	Arcilloso	4,32	2,82	0,13	4,49	78,47	----	1,90	0,63	--	--	3,40	0,10	6,03	41,99	58,01	56,35
10	S3228	SANTA VICTORIA MOALES SANCHEZ	M-014	CACAO	JULIO CESAR TELLO	19	46	35	Arcilloso	4,19	2,22	0,10	4,77	140,44	----	1,79	0,60	--	--	5,50	0,20	8,09	29,54	70,46	67,99
11	S3234	LEONARDA CHAVEZ LINO	M-018	CACAO	LA MERCEDED DE LOCRO	35	28	37	Franco Arcilloso	4,58	2,08	0,09	6,36	78,22	----	2,62	0,68	--	--	1,60	0,20	5,10	64,73	35,27	31,35
12	S3235	CARLOS CABALLERO ESPINOZA	M-019	CACAO	LA MERCEDED DE LOCRO	27	24	49	Franco	4,34	1,34	0,06	6,27	105,70	----	3,17	0,98	--	--	2,00	0,10	6,25	66,37	33,63	32,03
13	S3236	DIONICIO ROMERO LOPEZ	M-020	CACAO	LA MERCEDED DE LOCRO	45	26	29	Franco	5,11	0,87	0,04	8,61	103,95	----	2,87	0,92	--	--	1,00	0,20	4,99	75,94	24,06	20,05
14	S3221	HUGO SALDAÑA AMACIFEN	M-017	CACAO	LA MERCEDED DE LOCRO	21	46	33	Arcilloso	3,93	0,81	0,04	4,49	83,71	----	1,76	0,56	--	--	5,00	0,20	7,52	30,84	69,16	66,50

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE
FECHA : 22 de junio del 2018
Transferencia Bancaria

Cuadro 21. Análisis de suelos 2.

		 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA AV. UNIVERSITARIA S/N - CARRETERA CENTRAL KM 1.21 - TINGO MARIA - CELULAR 941531359 Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos analisisdesuelosunas@hotmail.com 																							
SOLICITANTE:					DEVIDA							BOLSON INKA CUCHARA													
N°	COD. LAB.	DATOS				ANALISIS MECANICO				pH	M.O.	N	P	K	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg						CICe	%	%	%
		PROPIETARIO	REF.	CULTIVO	COMUNIDAD	Arena	Arcilla	Limo	Textura							Ca	Mg	K	Na	Al	H				
		%	%	%			1:1	%	%	ppm	ppm														
15	S3232	NELSON ISMINIO ESPINOZA	M-021	CACAO	CAPITAN SOTO	27	42	31	Arcilloso	4,36	3,02	0,14	4,21	114,70	----	1,91	0,60	--	--	4,00	0,50	7,01	35,81	64,19	57,06
16	S3237	FREDY CARDENAS HERMOSILLA	M-022	CACAO	CAPITAN SOTO	31	38	31	Franco Arcilloso	4,34	2,69	0,12	6,17	63,97	----	2,39	0,73	--	--	2,80	0,20	6,12	50,94	49,06	45,79
17	S3238	MARIGEN YSMINIO HERMOSILLA	M-023	CACAO	CAPITAN SOTO	23	36	41	Franco Arcillo Limoso	4,55	1,81	0,08	5,33	79,22	----	2,99	1,02	--	--	1,87	0,13	6,01	66,70	33,30	31,13
18	S3240	JAIME ESPINOZA MUÑOZ	M-026	CACAO	BUENOS AIRES	25	46	29	Arcilloso	4,51	1,95	0,09	4,86	65,22	----	1,71	0,58	--	--	3,50	0,20	5,99	38,18	61,82	58,48
19	S3241	OLINDA REYNALDO LUJERIO ROLDAN	M-027	CACAO	BUENOS AIRES	19	36	45	Franco Arcillo Limoso	5,12	1,81	0,08	7,95	74,97	----	3,35	0,98	--	--	0,70	0,20	5,23	82,78	17,22	13,40
20	S3242	EVA JANAMPA CORREA	M-028	CACAO	BUENOS AIRES	35	30	35	Franco Arcilloso	5,38	2,75	0,12	8,59	119,95	----	5,25	1,94	--	--	0,17	0,03	7,39	97,29	2,71	2,30
21	S3218	HUMBERTINA ALANIA CRISTINO	M-004	CACAO	VENADO PAMPA	21	30	49	Franco Arcillo Limoso	6,24	0,94	0,04	9,82	130,44	###	8,14	1,25	0,97	0,28	--	--	--	100,00	0,00	0,00
22	S3219	CLEVER JORGE MALPARTIDA	M-005	CACAO	VENADO PAMPA	15	34	51	Franco Arcillo Limoso	5,30	1,34	0,06	7,48	80,71	----	4,21	0,68	--	--	0,18	0,02	5,09	96,07	3,93	3,54
23	S3220	DIóGENES CARMEN VEGA	M-006	CACAO	VENADO PAMPA	21	44	35	Arcilloso	4,40	3,16	0,14	6,27	85,84	----	2,45	0,73	--	--	3,00	0,10	6,28	50,66	49,34	47,75
24	S3215	JUAN CARLOS LOPEZ MARTINES	M-001	CACAO	PACHACUTEC	13	28	59	Franco Arcillo Limoso	5,36	1,75	0,08	8,42	137,94	----	4,53	1,12	--	--	0,20	0,10	5,94	94,95	5,05	3,37
25	S3216	ELIZABETH HILARIO AQUINO	M-002	CACAO	PACHACUTEC	11	32	57	Franco Arcillo Limoso	5,14	1,48	0,07	7,86	103,45	----	2,67	0,77	--	--	0,30	0,02	3,76	91,48	8,52	7,99
26	S3217	TEODORO ABNEGO RAMOS ROJAS	M-003	CACAO	PACHACUTEC	11	38	51	Franco Arcillo Limoso	5,44	2,82	0,13	8,70	79,22	----	2,60	0,68	--	--	0,15	0,05	3,48	94,24	5,76	4,32
27	S3233	LUIS ALBERTO RAYMUNDO MONTAÑA	M-024	CACAO	YURIMAGUAS	19	34	47	Franco Arcillo Limoso	5,31	1,14	0,05	8,51	188,42	----	4,26	1,39	--	--	0,27	0,03	5,95	94,96	5,04	4,54
28	S3239	CATALINA ANAYA LOARTE	M-025	CACAO	YURIMAGUAS	7	58	35	Arcilloso	4,32	2,35	0,11	4,49	59,72	----	2,18	0,67	--	--	6,00	1,00	9,85	28,91	71,09	60,93

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE
 FECHA : 22 de junio del 2018
 Transferencia Bancaria

Cuadro 22. Taxonomía de las plantas arvenses 1.

Familia	Pachacútec			Venado Pampa			Venenillo			Los cedros		Julio Cesar Tello		
	M-01	M-02	M-03	M-04	M-05	M-06	M-07	M-08	M-09	M-10	M-11	M-12	M-13	M-14
Amaranthaceae	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1
Talinaceae	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Caryophyllaceae	0	3	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
Araceae	0	0	1	0	0	0	2	0	0	1	0	1	0	1
Asteraceae	1	1	1	1	0	2	1	1	0	0	2	1	0	0
Campanulaceae	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1
Cyperaceae	1	1	1	1	2	1	1	1	0	0	0	2	1	0
Poaceae	0	3	2	2	3	0	1	2	2	1	2	0	0	0
Fabaceae	0	0	1	0	1	3	0	0	1	1	1	0	0	0
Dioscoreaceae	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rubiaceae	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1
Euphorbiaceae	0	0	1	1	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0
Urticaceae	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Solanaceae	2	2	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Convolvulaceae	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1
Melastomataceae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
Commelinaceae	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0
Heliconiaceae	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Malvaceae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Lamiaceae	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Verbenaceae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Acanthaceae	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Piperaceae	0	1	1	0	1	1	1	2	0	0	1	0	0	0
Phyllanthaceae	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0

Morfoespecie NN 1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1
Morfoespecie NN 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Morfoespecie NN 3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Morfoespecie NN 4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Morfoespecie NN 5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Morfoespecie NN 6	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Morfoespecie NN 7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Morfoespecie NN 8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Morfoespecie NN 9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Dennstaedtiaceae	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
Dryopteridaceae	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0

Cuadro 23. Taxonomía de las plantas arvenses 2.

Familia	Bartolomé Herrera		La Mercedes de Locro				Capitán soto			Yurimaguas		Buenos Aires		
	M-15	M-16	M-17	M-18	M-19	M-20	M-21	M-22	M-23	M-24	M-25	M-26	M-27	M-28
Amaranthaceae	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1
Talinaceae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Caryophyllaceae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Araceae	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0
Asteraceae	2	1	2	2	0	2	1	2	5	2	1	1	2	3
Campanulaceae	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Cyperaceae	0	1	1	1	0	1	0	0	2	0	2	1	3	1
Poaceae	3	0	1	1	1	0	2	1	2	2	3	1	3	4
Fabaceae	0	1	0	0	1	0	1	0	2	1	1	0	1	0
Dioscoreaceae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rubiaceae	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1

Euphorbiaceae	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Urticaceae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Solanaceae	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Convolvulaceae	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Melastomataceae	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0
Commelinaceae	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1
Heliconiaceae	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Malvaceae	2	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	2	0
Lamiaceae	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
Verbenaceae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Acanthaceae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Piperaceae	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
Phyllanthaceae	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0
Morfoespecie NN 1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0
Morfoespecie NN 2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Morfoespecie NN 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Morfoespecie NN 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Morfoespecie NN 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Morfoespecie NN 6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Morfoespecie NN 7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Morfoespecie NN 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Morfoespecie NN 9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dennstaedtiaceae	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dryopteridaceae	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1

Cuadro 24. ANVA del análisis de correlación de las propiedades del suelo con el rendimiento de cacao.

ANVA	SC	gl	CM	F	Sig.
Regresión	431 338.410	1	431 338.410	13.409	0.001
Residuo	804 204.057	25	32 168.282		
Total	1 235 545.467	26			

($p < \alpha = 0.05$)