

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN
ÁREAS DE CULTIVO DE PAPA (*Solanum Tuberosum sp.*) DE LA
LOCALIDAD COHECHÁN, DISTRITO DE CONILA, PROVINCIA
DE LUYA, DEPARTAMENTO AMAZONAS - 2016.**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE

INGENIERO AMBIENTAL

AUTORAS:

Br. CAMAS SOPLIN DEYSI ESPERANZA

Br. VALQUI REINA XIOMARA DE JESÚS

CHACHAPOYAS – PERÚ

2016

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**Evaluación de la Concentración de Cadmio en Áreas de Cultivo de
Papa (*Solanum tuberosum* sp.) de la Localidad Cohechán, Distrito de
Conila, Provincia de Luya, Departamento Amazonas - 2016.**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTORAS:

Br. CAMAS SOPLIN DEYSI ESPERANZA

Br. VALQUI REINA XIOMARA DE JESÚS

CHACHAPOYAS – PERÚ

2016

DEDICATORIA

A Dios por la vida, la salud y la sabiduría para lograr mis objetivos.

A mis padres Petronila y Francisco por ser el pilar fundamental de todo lo que soy, por su apoyo incondicional, por su ejemplo de superación, pero, sobre todo, por su amor.

A mis hermanos por su motivación día a día, por sus consejos y sobre todo por su confianza brindada.

Deysi

A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y darme salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres Elizabeth y Asunción por su apoyo en todo momento, sus consejos, sus valores, su ejemplo de perseverancia y constancia que me han infundado siempre y por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

A mis hermanas Danny, Jeymi y Valeria por todo el apoyo brindado en momentos difíciles,

Xiomara

AGRADECIMIENTO

Nuestro agradecimiento sincero a nuestro asesor, Ing. Segundo Manuel Oliva Cruz por su paciencia y apoyo en el desarrollo de este trabajo de investigación y la realización de la presente tesis.

Al instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDESCES) de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, por brindar el financiamiento de este proyecto de investigación “Evaluación de la concentración de cadmio en áreas de cultivo de papa (*solanum tuberosum* sp.) de la localidad Cohechan, distrito de Conila, provincia de Luya, departamento Amazonas – 2016” a través del proyecto SNIP N° 302252 “Creación de los servicios de un Laboratorio de Fisiología y Biotecnología Vegetal de la UNTRM – Región Amazonas” (FISIOVEG).

A los pobladores de la localidad de Cohechan y en especial a los dueños de las parcelas por colaborar y facilitar la recolección de las muestras.

A las personas quienes apoyaron en la recolección de muestras.

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

Ph. D. POLICARPIO CHAUCA VALQUI
Rector

Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN
Vicerrector Académico

Dr. FLOR TERESA GARCÍA RAMOS
Vicerrector de Investigación

Dr. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES
Decano de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

MsC. ROSALYNN YOHANNA RIVERA LOPEZ
Director de Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

VISTO BUENO DEL ASESOR

En mi calidad de docente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Yo MsC. Segundo Manuel Oliva Cruz, que suscribo, hago constar que he asesorado la ejecución y elaboración del informe de tesis titulado “Evaluación de la Concentración de Cadmio en Áreas de Cultivo de Papa (*Solanum Tuberosum sp.*) de la Localidad Cohechan, Distrito de Conila, Provincia de Luya, Departamento Amazonas - 2016.” de las tesoristas, Deysi Esperanza Camas Soplín y Xiomara de Jesús Valqui Reina, egresadas de la facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la UNTRM-Amazonas.

Chachapoyas, 25 de agosto de 2016

M.Sc. SEGUNDO MANUEL OLIVA CRUZ

Asesor

JURADO EVALUADOR

Lic. José Luis Quispe Osorio

Presidente

M.Sc. Gino Alfredo Vergara Medina

Secretario

Dra. Cástula Alvarado Chuqui

Vocal

DECLARACIÓN JURADA

Nosotras, Deysi Esperanza Camas Soplín, identificada con DNI N° 47537396, con domicilio en la Av. El trabajo 121 Asentamiento Humano Santo Toribio de Mogrovejo – Chachapoyas, y Xiomara de Jesús Valqui Reina, identificada con DNI N° 46796705, con domicilio en la prolongación Chincha Alta s/n – Chachapoyas, egresadas de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza – Amazonas, en calidad de ejecutoras de la tesis “Evaluación de la Concentración de Cadmio en Áreas de Cultivo de Papa (*Solanum Tuberosum* sp.) de la Localidad Cohechán, Distrito de Conila, Provincia de Luya, Departamento Amazonas - 2016.”, DECLARAMOS BAJO JURAMENTO, no haber plagiado en la elaboración de este trabajo, sino haberlo realizado con eficiencia, responsabilidad y durante el período establecido.

Se firma la presente, para los fines que se estime por conveniente.

Chachapoyas, 25 de agosto del 2016

DEYSI E. CAMAS SOPLIN
DNI 47537396

XIOMARA DE J. VALQUI REINA
DNI 46796705

Índice

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO	ii
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS	iii
VISTO BUENO DEL ASESOR.....	iv
JURADO EVALUADOR	v
DECLARACIÓN JURADA.....	vi
RESUMEN.....	x
ABSTRACT	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	3
III. MARCO TEÓRICO.....	4
3.1. Antecedentes	4
3.2. Base teórica	5
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
4.1. Área de estudio.....	14
4.2. Diseño de investigación.....	14
4.3. Métodos, Técnicas e Instrumentos	15
4.4. Análisis de datos.....	18
V. RESULTADOS	20
5.1. Identificación de parcelas y caracterización del proceso productivo de cultivo de papa	20
5.2. Caracterización del proceso productivo del cultivo de papa (encuesta)	22
5.3. Resultados de Cadmio, pH y Conductividad Eléctrica.....	27
5.3.1. Concentraciones de cadmio	27
5.3.2. Concentración de Cadmio en Tubérculo y Comparación con los Límites Máximos Permisibles	28
5.3.3. Concentración de Cadmio en Hoja y Comparación con los límites Máximos Permisibles.....	30
5.3.4. Concentración de Cadmio en Suelo y Comparación con los Límites Máximos Permisibles.....	32
5.3.5. Mediciones de pH y Conductividad eléctrica	33
VI. DISCUSIÓN	36
VII. CONCLUSIONES.....	39
VIII. RECOMENDACIONES.....	40
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41
ANEXOS	47

Índice de tablas

Tabla 01: Clasificación de suelos por pH según el Departamento de Agricultura EE.UU.....	19
Tabla 02: Clasificación de suelos por C.E según el Departamento de Agricultura EE.UU	19
Tabla 03: Resultados de las Concentraciones de Cadmio	28
Tabla 04: Comparación de las muestras de túberculo entre las parcelas de estudio	29
Tabla 05: Comparación de las muestras de hoja entre las parcelas de estudio	31
Tabla 06: Análisis de varianza	33
Tabla 07: Resultados de pH y conductividad Eléctrica	33
Tabla 08: Análisis de varianza	34
Tabla 09: Prueba Tukey	34
Tabla 11: Comparación de Conductividad Eléctrica entre las parcelas de estudio	43

Índice de figuras

Figura 01: Diagrama de flujo metodología usada	13
Figura 02: Modelos de patrón de recorrido	16
Figura 03: Muestreo de suelo en "V"	17
Figura 04: Tipo de hoja a muestrear	17
Figura 05: Grado de instrucción	22
Figura 06: Variedad de cultivo de papa	22
Figura 07: Utiliza algún fertilizante, fungicida, insecticida	23
Figura 08: Tipo de fertilizante	23
Figura 09: Aplicación por campaña	24
Figura 10: Fungicidas agrícolas	24
Figura 11: Periodo de aplicación en época de lluvia	25
Figura 12: Periodo de aplicación en época de verano	25
Figura 13: Riego de parcela	25
Figura 14: Periodo de siembra	26
Figura 15: Producción por hectáreas	26
Figura 16: Destino del producto	27
Figura 17: Mercado destinado del producto	27
Figura 18: Concentración de Cadmio en tubérculo y comparación con los LMPs en cada parcela	29
Figura 19: Concentración de Cadmio en hoja y comparación con los LMPs en cada parcela	30
Figura 20: Concentración de Cadmio en suelo y comparación con los LMPs en parcelas con cultivo de papa y en áreas sin cultivo (testigo)	32

RESUMEN

Uno de los principales productos de consumo diario en el Perú es la papa, pero en los últimos años, la adición de agroquímicos con posible contenido de metales pesados, como el cadmio (Cd), ha disminuido la calidad del producto y producido impacto en el suelo usado para su cultivo.

El objetivo de este estudio fue determinar la concentración de Cadmio en las áreas de cultivo de papa en la localidad de Cohechán. Las áreas de cultivo de estudio se seleccionaron mediante encuestas y que tengan la misma de variedad de papa; para este fin se tomaron 06 muestras de tubérculos, 06 muestras de hojas de papa, así como 06 muestras de suelo usado para su cultivo y 06 muestras de suelo testigo de áreas aledañas sin producción posteriormente se procedió a evaluar los parámetros fisicoquímicos, pH, Conductividad Eléctrica y concentración de Cadmio, siguiendo la metodología descrita en “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” para su análisis final con el software estadístico R40.

Los análisis para cadmio, con respecto al suelo mostraron que el 50% de la muestras de no son aptas para el uso agrícola, siendo la parcela número 4 la que presenta mayor concentración de cadmio con 3.99ppm; con respecto al tubérculo el 83% de las muestras representan un riesgo para la salud, siendo el de mayor concentración la parcela número 2 con 0.23ppm; en el caso con respecto de las hojas en su totalidad presentan alarmantes niveles de cadmio, resaltando la parcela número 6 con 7.09ppm , cabe mencionar que solo 2 de las muestras testigos presentan niveles superiores de Cadmio, según lo establecido en los Estándares de Calidad Ambiental (ECAs) suelos del Perú (MINAM, 2013) y el *Codex Alimentarius* (FAO, 2015).

Palabras clave: Papa *Solanum tuberosum*, Cohechan, cadmio, pH y Conductividad Eléctrica

ABSTRACT

One of the main products of daily consumption in the Peru is the potato, but in recent years, the addition of agrochemicals with possible content of heavy metals, such as cadmium (Cd), has diminished the quality of the product and produced impact on soil used for its crop. The objective of this study was to determine the concentration of cadmium in the areas of cultivation of potatoes in the village of Cohechan. The cultivation of study areas were selected through surveys and have the same variety of Pope; for this purpose samples were taken 06 06 samples of leaves of potato tubers, so how 06 samples of soil used for cultivation and 06 soil samples surrounding areas without production witness then proceeded to evaluate physicochemical parameters, pH, Electrical conductivity and concentration of cadmium, according to the methodology described in "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" for final analysis with the statistical software R40.

Analyses for cadmium, from the ground showed that 50% of the samples of are not suitable for agricultural use, being the plot number 4 which presents greatest concentration of cadmium with 3. 99ppm; with respect to the tuber 83% of samples represent a risk for health, being the largest concentration plot number 2 with 0. 23ppm; in the case with respect to leaves entirely present alarming levels of cadmium, highlighting the plot number 6 with 7. 09ppm, it is noteworthy that only 2 samples witnesses present higher levels of cadmium, according to the provisions of the standards of Environmental quality (RCTs) soils of Peru (MINAM, 2013) and the Codex Alimentarius (FAO, 2015).

Key words: Potatoes *Solamun tuberosum*, Cohechan, cadmium, pH y C.E

I. INTRODUCCIÓN

El cadmio está presente de forma natural en los suelos y su concentración depende de la naturaleza de la roca madre de la que el suelo fue formado, los montos depositados desde la atmósfera y los renovados por las cosechas y lixiviación, pero los valores de este metal pueden incrementarse debido a actividades de origen antropogénico como enmiendas y la adición de fertilizantes (Hutchinson & Meeme., 1987).

La principal fuente de contaminación de cadmio en el ser humano es la ingesta de vegetales contaminados con este metal (Norvell, W.A., Wu, J., Hopkins, D.G., Welch, R. 2000). Químicamente, el cadmio se puede encontrar disuelto en el agua contenida en el suelo, adsorbido en superficies orgánicas e inorgánicas, formando parte de minerales, precipitado con otros compuestos del suelo o incorporado a estructuras biológicas. Sin embargo la biodisponibilidad del cadmio para la planta depende de numerosos factores físicos, químicos y biológicos que modifican su solubilidad y el estado del metal en el suelo.

Uno de los principales factores es el pH del suelo, el potencial redox, la temperatura y el contenido en arcillas, materia orgánica, y agua (Christensen & Haung 1999). Por último es importante destacar el tipo de cultivo del que se trate, ya que no todas las plantas acumulan cadmio en igual medida (Prince, W.S.P.M., Kumar, S.P., Doberschütz, K.D., Subburam, V., 2002).

Prácticamente todas las poblaciones humanas están expuestas a Cd, debido a su presencia en alimentos de origen vegetal, como raíces y tubérculos, siendo peligroso para el hombre por su potencial tóxico y su relativa movilidad en sistema suelo-planta (McLaughlin & Singh, 1999). Este escenario es preocupante, debido a que la evidencia epidemiológica ha sugerido que no hay margen de seguridad entre los niveles de exposición actuales Cd y el umbral de efectos adversos para la salud y, por lo tanto, existe una necesidad urgente de reducir la ingesta humana de Cd (Clemens, S., Aarts, M. G., Thomine, S., & Verbruggen, N., 2013).

La región Amazonas se caracteriza por el cultivo de cacao (13 483.16 ha), café (42 744.2399 ha) y papa (3 387.3754 ha) (INEI, 2012), productos que pueden bioacumular cantidades peligrosas de Cd, debido al uso agrícola de insumos

químicos contaminados con trazas de este metal pesado. Esto último hace que el estudio y medición de Cd en suelos agrícolas sea indispensable y debido a que en la región Amazonas y en la zona de Conila – Cohechan aún no se ha evaluado la concentración de este metal en las áreas de cultivo de papa, el objetivo de la presente investigación es evaluar estas concentraciones con la finalidad de poder comparar con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por la OMS y la FAO en el Codex Alimentarius y determinar si estas pueden causar daños a la salud de los consumidores, ya que, este producto (la papa) es el alimento de mayor producción y consumo en la zona.

En la región Amazonas no se ha llevado una investigación de esta índole hasta el momento, pero se estima que la concentración de cadmio en las áreas de cultivos de papa son menores con respecto a los Límites Máximos Permisibles, por lo que no genera un riesgo para la salud.

II. OBJETIVOS

Objetivo general:

- Evaluar la concentración de Cadmio en las áreas de cultivo de papa en la localidad de Cohechan.

Objetivos específicos:

- Identificar las parcelas con cultivo de papa de la variedad huairo.
- Caracterizar el proceso productivo de cultivo de papa de la variedad huairo.
- Calcular la concentración de cadmio en el cultivo de papa de la variedad huairo.
- Comparar los resultados de cadmio obtenidos con los Límites Máximos Permisibles.

III. MARCO TEÓRICO

3.1. Antecedentes

A nivel internacional se han llevado a cabo investigaciones en esta línea, siendo una de las más representativas, la realizada en los municipios de Mosqueta y Soacha, Bogotá, Colombia, donde para cada uno de los cultivos hortícolas se demarco un área experimental consistente en tres franjas de 30 m de largo por 1,4 m de ancho, en cada muestreo se tomaron tres repeticiones de cada muestra y se determinó la presencia de metales pesados usando espectrofotometría de absorción atómica. Para Cd el método 973.34, los resultados se analizaron estadísticamente, (Miranda L., D., C. Carranza y G. Fischer., 2008).

Por otro lado, en la isla de Tenerife se evaluó la toxicidad debido a metales esenciales en papas antiguas, el trabajo se centró en tres tubérculos pertenecientes a distintas familias botánicas: papas (*Solanum tuberosum L.*), batatas (*Ipomoea batatas L.*) y ñames (*Colocasia esculenta L.*). La razón de seleccionar los dos primeros alimentos, papas y batatas, fue debido a que ambos tubérculos son ampliamente cultivados y consumidos por la población isleña.

Los ñames, a diferencia de los tubérculos mencionados anteriormente, presentan unas cualidades ecológicas únicas siendo capaces de desarrollarse en condiciones peculiares donde los terrenos se encuentran inundados y de escasa luz solar. A su vez, la selección de estos tubérculos, agrupados por su similitud biológica, permite una comparación del contenido metálico entre los mismos (Gonzales *et al.*, 2012).

También se ha visto que la presencia de metales pesados en alimentos ha sido reportada como uno de los problemas de alto impacto, debido a su toxicidad y afecciones en la salud humana. En un estudio que se llevó a cabo en Boyacá sobre cuantificación voltamétrica de plomo y cadmio en papa fresca, se realizó el método de voltimetría usando: como buffer, solución Britton-Robinson (B-R, pH 4,8); carbono vítreo, como electrodo de trabajo; Ag/AgCl, como electrodo de referencia y platino, como electrodo auxiliar. La aplicación de la técnica VOC

fue realizada en tubérculos recolectados en la central de abastos de Tunja-Boyacá, Colombia. El análisis de varianza de la validación no presentó diferencia estadística; el análisis fue realizado con un nivel de confiabilidad de 94,5%, para cadmio y 92,0%, para plomo. La concentración de estos metales en las muestras analizadas estuvieron entre un rango de 0,111 a 0,304ppm, que sobrepasa los límites máximos establecidos por las normas nacionales e internacionales, vigentes para papa de consumo humano (Mariño, Y. L. M., Colmenares, J. M. G., & Acuña, S. P. C., 2016).

En el Perú las investigaciones, para determinar las concentraciones de Cd, se han centrado básicamente en el cacao, una sobresaliente en esta rama es la que se llevó a cabo en las regiones de Huánuco y Ucayali, donde se estudiaron 22 parcelas orgánicas de cacao, encontrando que las concentraciones de Cd que no sobrepasan los límites establecidos en el Codex Alimentarius (Huamaní, H., Mansilla, L., Florida, N., Neira, G., y Huauya, M., 2012).

Por otro lado existen estudios para determinar las concentraciones de cadmio y plomo en papa (*Solanum tuberosum sp.*) cosechada en las cuencas de los ríos Mashcón y Chonta por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Horno de Grafito, donde se recolectó un total de 40 muestras de papa de cultivos cercanos a las cuencas de los ríos Mashcón y Chonta, la concentración media de cadmio en las muestras de papa para la cuenca del río Mashcón fue de 0.3095 ppm \pm 0.0078 ppm y para la cuenca del río Chonta fue de 0.3078 ppm \pm 0.0223 ppm, evidenciándose que el 100% de las muestras de papa para ambas cuencas presentan concentraciones de cadmio que superan el límite máximo permisible (0.1 ppm, según lo indicado en el CODEX STAN 193-1995 Revisión 2009 Mod.2015 dado por el Codex Alimentarius).

3.2.Base teórica

- **La papa.-** La papa pertenece a la familia Solanáceae, pariente del tomate, ají, pimentón, berenjena, tabaco, petunia, mandrágora, belladona, por nombrar alguna de las más de 2,000 especies presentes en esta familia. La papa es el cuarto producto principal alimenticio en el mundo, después del

trigo, el arroz y el maíz. Una papa de tamaño mediano contiene alrededor de la mitad de los requerimientos diarios de vitamina C de una persona adulta. Otros cultivos de primera necesidad como el arroz o el trigo no poseen este elemento. La papa es muy baja en grasa, con sólo el 5% del contenido de grasa del trigo y una cuarta parte de las calorías del pan. La papa se cultiva en 19 departamentos del Perú, desde el nivel del mar hasta los 4,100 metros de altura y constituye la base de la alimentación del poblador especialmente de la sierra. Su cultivo genera al productor andino mayores ingresos económicos que cualquier otro cultivo; ofrece más de 110,000 mil puestos de trabajo, es producido por 600 mil pequeñas unidades agrarias en el sector primario (34 millones de jornales/año), sin considerar lo que se utiliza en la industria y en los servicios relacionados a su comercialización y utilización. Representó el 7.0% del PBI agropecuario para el año 2011, la producción de papa fue de 4.07 millones de toneladas generando un valor bruto de la producción de 1,642.8 millones de nuevos soles (Ministerio de Agricultura 2012).

- **Cultivo de papa.**- La papa se cultiva en diferentes países del mundo, en clima templado, subtropical y tropical. Es esencialmente un "cultivo de clima templado o frío", por la cual la temperatura debe ser fría y templada (generalmente inferiores a 30° C y superiores a los 10°C), mientras que la mejor producción ocurre en donde la temperatura diaria se mantiene en promedio de 15° a 20° C.

Por ese motivo la papa se siembra a principios de la primavera en las zonas templadas y a finales del invierno en las regiones más cálidas. En los lugares de clima tropical caliente se cultiva durante los meses más frescos del año.

En algunas tierras altas subtropicales, la temperatura es más tranquila, la cual permite a los agricultores, cultivar la papa todo el año y cosechar los tubérculos a los 3 meses de haberlos sembrado, en las zonas que son más friolentas se cosecha a los 4 o 6 meses. La papa es una planta que tiene una gran capacidad de adaptarse a los diferentes suelos que nos ofrece las zonas rurales. Sin embargo, también es víctima de varias plagas, como la helada, la ranca, la mosquilla, el pulgón, etc. Para prevenir la acumulación de

patógenos en el suelo, los agricultores evitan cultivar papas en las mismas tierras todos los años. En cambio, rotan los cultivos en ciclos de tres o más años, variando los cultivos, por ejemplo con maíz, trigo, aba, alverja, etc.

Una hectárea de papas en las regiones templadas, puede producir más de 35 toneladas de tubérculos frescos, con un espacio de cuatro meses de siembra, sin embargo en casi todos los distritos de la Provincia de Luya, la siembra es más baja, ya que produce desde 5 hasta 25 toneladas por hectárea, debido a la falta de semillas de buena calidad, mal uso de fertilizantes e irrigación, problemas de plagas y enfermedades, como es el caso de las heladas, que son las que causan más peligro (MINAGRI 2012).

➤ **Etapas del Desarrollo del Cultivo de la Papa.**

Según los agricultores de la zona de Cohechan hay 6 etapas del desarrollo del cultivo de papa los cuales son:

- **Tubérculo sembrado en el campo:** la semilla al empezar a germinar se siembra en el campo preparado, junto con abono y otros abonos inorgánicos, para que el cultivo sea más productivo. En pequeñas chacras se surca con un arado tirado por dos reses (toros). En las chacras grandes o los que tienen un poco más de recursos económicos el sembrío es realizado a base de tractores.
- **Crecimiento vegetativo:** en esta etapa, a los 25 a 30 días nace la planta, indicando que se debe aplicar los fertilizantes necesarios para un mejor cultivo.
- **Inicio de la producción de tubérculos:** en estas ocasiones la planta comienza a criar raíces, esto indica que la planta está en condiciones óptimas para poder ser aporcada. Esto beneficia a que los frutos se desarrollen fácilmente y alcancen a formarse completamente.
- **Crecimiento de los tubérculos:** aquí, los tubérculos empiezan a desarrollarse fácilmente creciendo y dándose forma con su peso

adecuado. En la actualidad, para un mejor crecimiento se utiliza los famosos foliares.

- **Cuidado del Cultivo.-** Durante el crecimiento del follaje de la papa, que toma alrededor de cuatro semanas, es necesario combatir la maleza para que el cultivo tenga una ventaja competitiva. Si la maleza es grande hay que eliminarla antes de iniciar la formación de los camellones, estos se forman amontonando tierra tomada de entre las hileras, en torno al tallo principal de la papa. Los camellones o aporques sirven para que la planta se mantenga vertical y la tierra esté suelta, esto nos permite, evitar las plagas de insectos que afecten a las plantas, como la polilla del tubérculo.

Una vez formados los camellones se elimina, automáticamente o con herbicidas, la maleza que crece entre las plantas de la papa y encima del camellón. Los camellones se deben formar dos o tres veces, con un espacio de 15 a 20 días. La primera vez se hará cuando las plantas hayan alcanzado de 15 a 25 cm de altura.

- **La Cosecha de la Papa.-** Es un proceso muy agradable, con una lampa se remueve la tierra con muchísimo cuidado, en donde van apareciendo los tubérculos (la papa), es allí donde es recogido en sacos, luego es llevado a una parva para poder reunir todo en conjunto. Una vez reunida la producción, todo el personal acude a la clasificación, de donde se obtiene: la papa de primera calidad (es la papa de tamaño más grande destinada en su mayoría para las pollerías y restaurantes), la papa segunda calidad (es la papa de regular o mediano tamaño que son destinado para el mercado), la papa de tercera calidad (es la papa un poco más pequeña que queda para el autoconsumo de los agricultores) y para semilla los agricultores escogen la papa pequeña y la más formada, esto es para que en próximas siembras puedan tener una buen cosecha. Según los productores, la papa que queda de las clasificaciones, es brindada para los cerdos.

- **Tipos de la Papa.-** En la actualidad, las variedades de papa son muchas. Así como; la papa Amarilla, la papa Canchan, papa Peruana, papa Huairo, papa Negra, papa Yungay blanca, papa Yungay Rosada etc.
 - **Papa Canchan:** esta papa la cáscara de color rosáceo, por la cual también se suele llamar papa rosada, la pulpa es de color blanco, su sabor es delicioso con una textura muy agradable.
 - **Papa Huairo:** es consumida en gran manera, es rica en materia seca. La cáscara de esta variedad de papa puede ser color blanco con pequeñas manchas rosadas y puntos negros, y hay de color rosado pálido con puntos negros y la carne es de color amarillo.
 - **Papa Negra:** tanto la piel, como la carne son de color negro, es muy sabrosa, de físico redondo, más utilizada para el autoconsumo.
 - **Papa Amarilla:** es un tubérculo de piel delgada y de color amarillo. Tiene un gran valor alimenticio ya que es una fuente rica en proteína, carbohidratos, potasio, vitaminas y minerales.
- **Fuentes de producción de los metales pesados.-** los metales pesados se encuentran de forma natural en la corteza terrestre contenidos en las rocas; el intemperismo y las actividades del hombre son los responsables del incremento o disminución de los niveles normales. Mucho de estos son producto de la utilización de fertilizantes, mejoradores químicos y la utilización de aguas residuales. El cadmio se halla normalmente combinado con otros elementos, como oxígeno, cloro o azufre (sulfato y sulfito de cadmio). Como el resto de compuestos que se encuentran en bajas proporciones, en cualquier ecosistema las reservas suelen ser muy bajas, y se ha demostrado que, en estos casos, pequeñas variaciones pueden alterar el equilibrio de los ciclos biogeoquímicos de estos compuestos. En el suelo se producen diversas reacciones que determinan la velocidad y tiempo de resistencia relacionadas con su ciclo biogeoquímico (Rubio, *et al.*, 1996).

La causa principal del aumento de metales pesados en el suelo radica en las actividades antropogénicas y existe una dependencia entre las actividades humanas y el uso de compuestos químicos que generan el aumento de metales contaminantes.

- **Mecanismos de absorción de metales pesados por las plantas.-** las especies vegetales, incluidos los cultivos agrícolas tienen la capacidad de acumular metales pesados en sus tejidos; a esta capacidad se le conoce como bioacumulación y es diferente entre las especies vegetales y son atribuidas también a la capacidad de retención de metales por el suelo y a la interacción de planta –raíz – metal (Bañuelos *et al.*, 1997).
- **Cadmio.-** El cadmio (Cd) se encuentra distribuido de forma natural en la corteza terrestre en concentraciones relativamente bajas y cuya presencia se debe principalmente fuentes antropogénicas (combustión de carburantes y carbón, incineración de los residuos sólidos municipales, fundiciones, fertilizantes, aplicaciones de fangos procedentes de las estaciones depuradoras, humo del tabaco, y otros. Entre las aplicaciones que presenta el cadmio destacan la fabricación de baterías, pinturas, plásticos y recubrimientos.
- **Cadmio en suelo.-** El nivel promedio de cadmio en suelos ha sido ubicado entre 0,07 y 1,1 mg.kg⁻¹, con un nivel base natural que no excedería de 0.5 mg.kg⁻¹ (Kabata – Pendias & Pendias, 1984). Algunos suelos pueden tener niveles de cadmio elevados porque las rocas de las que se formaron tenían el elemento de su composición. Una de las vías de incorporación del cadmio a los suelos agrícolas es la fertilización fosfática; las rocas fosfóricas que son la materia prima de todos los fertilizantes fosfáticos, contienen niveles de metales pesados que varían según su origen geográfico pero que generalmente son superiores al promedio de la corteza terrestre. Los metales permanecen en una proporción importante en los fertilizantes industriales y posteriormente son aplicados al suelo junto con el fósforo (Charter, R. A.; M. A. Tabatabai y J. W. Schafer., 1993; Mermut, *et al.*, 1996; Mortvedt, 1996; Gabe y Rodella, 1999).

El cadmio de origen antropogénico generalmente presente en los horizontes superficiales, será más disponible que el proveniente de la meteorización de las rocas, pero su absorción por las plantas depende de los factores del suelo y del cultivo. Aquellos factores y condiciones del suelo que favorezcan la movilidad del elemento también facilitarían la absorción por las plantas, mientras que los que contribuyan a su retención por la matriz del suelo disminuirían la disponibilidad del elemento; en general mientras mayor sea el pH del suelo, mayor será la retención del cadmio, hay varias razones para ello, entre ellas la formación de especies con menor densidad de carga negativa por la unión del ion metálico con los iones OH y el incremento de las cargas negativas en la superficie de óxidos o de otros materiales de carga variable donde el ion metálico puede adsorberse (Pardo y Guadalix, 1995; Naidu, R.; R.S. Kookana; M.E. Sumner; R.D. Harter y K.G. Tiller., 1997; Pardo, 1997; Wu, Q.; W. H. Hendershot; W. D. Marshall y Y. Ge., 2000).

La mineralogía de los suelos también puede ser determinante en la disponibilidad de cadmio para las plantas, los suelos que posean elevada capacidad de intercambio catiónico bien sea por su material parental o su proceso edafogénico, tendrán también una mayor capacidad para retener cadmio. La cantidad de cadmio nativo en los suelos generalmente sigue el orden natural de la evolución de éstos, con los valores más bajos en los suelos más evolucionados, de pH ácido, bajos valores de CIC y textura gruesa (Holmgren, G.G.S; M.W. Meyer; R.L. Chaney y R.B.Daniels., 1993; Ma, L.Q.; F. Tang y W.G. Harris, 1997)

- **Cadmio en plantas.-** La absorción de cadmio por las plantas puede ser facilitada por sustancias ácidas que se producen en la rizósfera. Los exudados radiculares, especialmente los ácidos carboxílicos, incrementan la absorción de cadmio (Nigam, R.; S. Srivastava; S. Prakash y M.M. Srivastava., 2001). En las leguminosas la absorción de cadmio estaría favorecida por el carácter ácido del proceso de fijación simbiótica de nitrógeno (Iretskaya y Chien, 1999). Entre los factores de la planta que pueden influir en la cantidad de cadmio absorbido se encuentran: la especie, la edad y el desarrollo radicular. Algunos cultivos como lechuga, espinaca

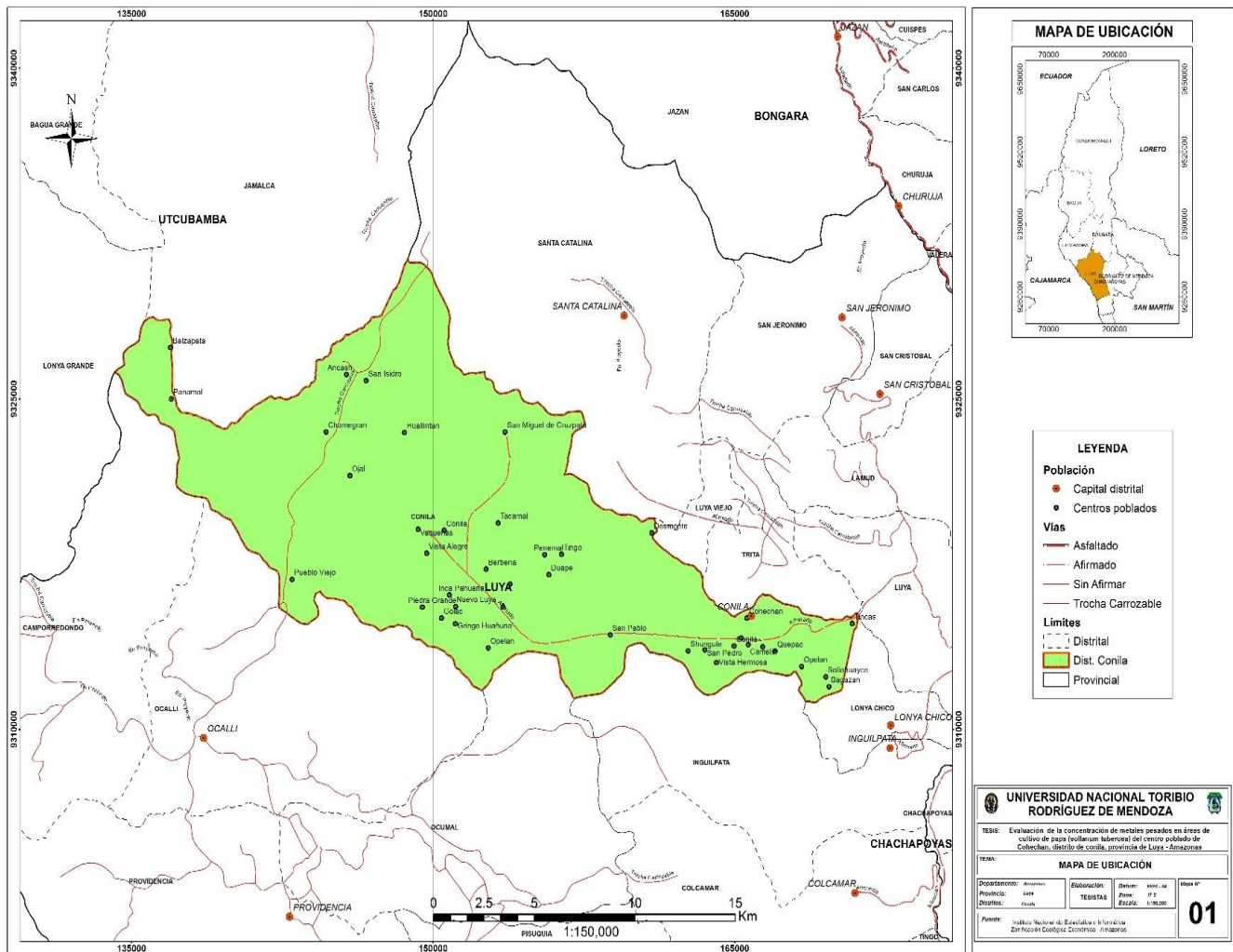
y nabo han sido considerados de alta absorción, mientras que otros como trigo, arroz, avena y trébol absorberían poco cadmio (Ferguson, 1990). La concentración de cadmio en los tejidos vegetales puede llegar a ser varias veces superior a la presente en el suelo. En plantas de lechuga (materia seca) se han determinado valores de concentración de hasta 16 veces la concentración en el suelo (Lehoczky, E.; P. Marth; I. Szabados; M. Palkovics y P. Lukács., 2000). La concentración de cadmio no es la misma en las diferentes partes de la planta. Generalmente la secuencia es: raíces > tallos > hojas > frutas > semillas (Ferguson, 1990; Jinadasa, K.B.P.N.; P.J. Milham; C.A. Hawkins; P.S. Cornish; P.A. Williams; C.J. Kaldor y J.P. Conroy. 1997; Nigam, R.; S. Srivastava; S. Prakash y M.M. Srivastava..., 2001). No obstante, las proporciones pueden cambiar según la especie y aún la etapa de crecimiento (Cieslinski, G.; K.C.J. Van Rees; P.M. Huang; L.M. Kozak; H.P.W. Rostad y D.R. Knott., 1996). Los tejidos vegetativos tienen en general mayores concentraciones que los tejidos de almacenamiento, lo cual sugiere la existencia de alguna barrera fisiológica que evita la acumulación del metal en éstos últimos (McGrath, S.P.; F.J. Zhao; S.J. Dunham; A.R. Crosland y K. Coleman., 2000). El cadmio no tiene ninguna función fisiológica conocida en los vegetales y su presencia en los suelos puede limitar la absorción y translocación dentro de la planta de otros elementos que también forman iones divalentes como calcio, magnesio, zinc, hierro y manganeso (Smilde K.W.; B. Van Luit y W. Van Driel., 1992; Oliver, D.P.; K.G. Hannan; K.G. Tiller; N.S. Wilhem; R. H. Merry y G.D. Cozens., 1994; Gupta y Gupta, 1998; Llamas et al., 2000). Dentro de la planta interfiere en los procesos de respiración y fotosíntesis, se combina con el azufre presente en las enzimas que tienen este elemento en su composición y da origen a un proceso de estrés oxidativo, que produce daño celular en los tejidos y el cual se caracteriza por el incremento de las concentraciones de especies químicas como el peróxido de hidrógeno (H₂O₂), iones peróxido (O₂⁻) e hidróxido (OH⁻) y radicales libres (Lagriffoull et al., 1998). Aunque el principal síntoma de contaminación de cadmio es la disminución de crecimiento de las plantas, dependiendo de la sensibilidad de la especie, también es posible la aparición de otros síntomas como clorosis, hojas arrugadas y con coloración marrón-rojiza. (Ferguson, 1990).

En plantas tolerantes al cadmio, la aparición de estos síntomas sólo ocurre a muy elevadas concentraciones del elemento, por lo que es posible la comercialización de partes vegetales con concentraciones de cadmio muy superiores al máximo permitido para alimentos, como productos de aparente buena calidad (Kabata-Pendías y Pendías, 1984; Wagner, 1995).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Área de estudio

El estudio se realizó en la localidad de Cohechan ubicado a 2466 msnm, distrito de Conila, provincia de Luya



Mapa N° 01: Mapa de ubicación de la Localidad de Cohechan

4.2. Diseño de investigación

Para este estudio se usó un diseño descriptivo que consiste en describir lo que existe, determinar la frecuencia en que un hecho ocurre y clasificar la información, para el análisis de la concentración de cadmio, porque no existe una manipulación de las variables; pero adicionalmente se usó un diseño de correlación descriptiva.

Para la evaluación de la concentración de cadmio en áreas de cultivo de papa (*solanum tuberosum sp.*) de la localidad Cohechan, la metodología usada se resumió y se presenta en el siguiente diagrama de flujo (Figura 1):

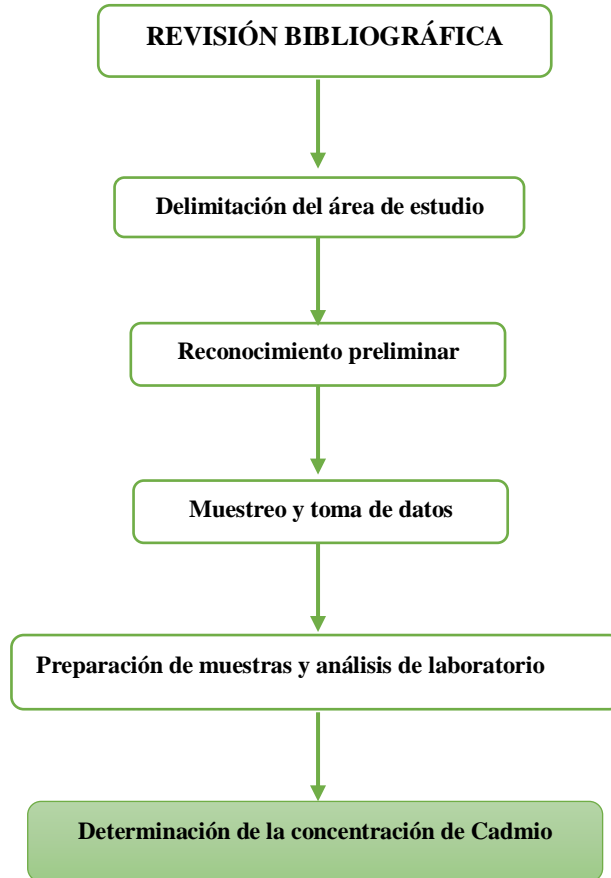


Figura 1. Flujo metodológico para la evaluación de la concentración de cadmio en áreas de cultivo de papa (*solanum tuberosum sp.*) de la localidad de Cohechan.

4.3. Métodos, Técnicas e Instrumentos

4.3.1. Métodos: En el laboratorio, las determinaciones de Cd se realizaron utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica.

4.3.2. Técnicas:

- Encuesta.
- Observación.

4.3.3. Instrumentos: se utilizó los siguientes instrumentos:

- Cuestionario.
- Ficha de colecta de información de cultivo de papa.
- Ficha de colecta de información de pH y conductividad eléctrica.

4.3.4. Procedimiento

Se aplicó de acuerdo lo establecido por Chapman (1996), esta investigación se realizó en campo y laboratorio.

- * Identificación de las parcelas con cultivo de papa se verificó que los cultivos de papa estén en su última etapa de maduración y listos para cosecha, así como también que la variedad de la papa sea huairo.
- * Caracterización del proceso productivo de cultivo de papa se aplicó una encuesta a 30 agricultores de la asociación San Juan Bautista; de los cuales solo 06 fueron considerados por tener solo la variedad huairo en su cultivo de papa.
- * Seleccionadas las parcelas se definieron las plantas a muestrear, usando la técnica de diagonales, de acuerdo a su posición considerando que estas no se encuentren en el borde de las parcelas ni tengan contacto con otros cultivos. De cada una de las parcelas se recolectó muestra de suelo, hoja y tubérculo.

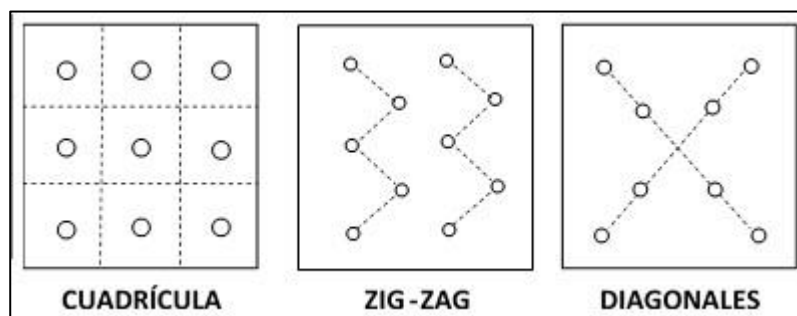


Figura 2. Modelos de patrón de recorrido para el muestreo

- * De cada planta seleccionada, se colectaron 05 tubérculos, los más desarrollados, luego estos fueron colocados en una bolsa debidamente etiquetada y rotulada. De la misma manera se recolectó 20 hojas las más desarrolladas de mayor edad las cuales estaban localizadas por debajo de la yema de crecimiento de las plantas, estas fueron colocadas en bolsas de papel debidamente etiquetadas y rotuladas para evitar la producción de humedad. Para

el caso del suelo se recolectó la muestra del mismo lugar de donde se seleccionó la planta y fueron recolectados las muestras de hoja y tubérculo; para ello con la ayuda de una palana recta se colecto la muestra de suelo en forma de "V" y colocado en una bolsa de plástico aproximadamente unos 700 gr las cuales fueron etiquetadas y rotuladas. Así mismo también se recolectó 01 muestra de suelo sin ningún tipo de cultivo adyacente a las parcelas donde se tomaron las muestras de cultivo de papa, las cuales fueron colocadas en bolsa de plástico con su respectiva etiqueta y rotulación.



Figura 3. Muestreo de suelo en "V"

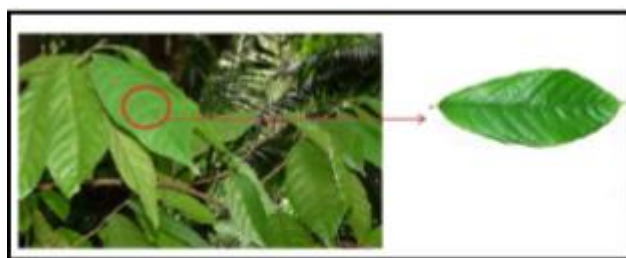


Figura 4. Tipo de hoja a muestrear

- * Una vez que se recolectó todas las muestras de suelo, hoja y tubérculo, estos fueron transportados al Laboratorio de Investigación de Suelos y Aguas de la UNTRM donde se procesó cada una de las muestras. Para el caso de las hojas y los tubérculos estos fueron lavados con agua destilada para remover los restos de tierra que contenían las muestras y así evitar que los resultados sean adulterados.

- * Para la muestra de hojas una vez que fueron lavadas estas se colocaron en bolsas de papel y llevadas a la estufa a una temperatura de 60° por el espacio 07 días, en el caso de la papa luego de ser lavadas con agua destilada, fueron rayadas con un rayador manual

para así sea fácil su secado en la estufa, una vez rayadas las papas se colocaron en recipientes de plástico esterilizados con su respectivo rotulado a una temperatura de 60° durante por el espacio de dos semanas. Para el caso del suelo este se colocó en cajas de cartón previamente etiquetadas y rotuladas, luego llevadas a la estufa a una temperatura de 60° durante 07 días.

- * Las muestras se secaron estas fueron sacadas de la estufa, en el caso de las hojas se extrajeron de la bolsa y colocada en un mortero para ser triturada con un pilón, una vez que este hecho polvo fino son vaciados una bolsa con cierre hermético luego fue etiquetada y rotulada. Con las muestras de papa se tuvo el mismo procedimiento que para las hojas también fueron trituradas manualmente y colocadas en una bolsa con cierre hermético, luego etiquetadas y rotuladas.
- * Con las muestras de suelo, una vez secas también fueron trituradas manualmente, colocadas en una tamizador para separar las gravas gruesas de las finas, la grava fina se colocó en la bolsa con cierre hermético, luego fue sellada, etiquetada y rotulada. Una vez que las muestras estuvieron listas fueron transportadas a la ciudad de Lima para ser analizadas en el Laboratorio de suelo de la Universidad Nacional Agraria La Molina, indicando cual es el método para realizar dichos análisis de cadmio.
- * En el Laboratorio de Investigación de Suelos y Aguas de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza se analizó solo el pH y Conductividad eléctrica de la muestra de suelo.

4.4. Análisis de datos

Los datos se analizaron y fueron comparados con los límites establecidos por el departamento de Agricultura de los Estados Unidos "Natural Resources Conservation Service". Los mismos que se clasifican; según:

a) pH:

Tabla 01: Clasificación de suelos por pH, según el departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

Denominación	Rango Ph
Ultra Ácido	< 3.5
Ácido Extremo	3.5 - 4.4
Acido Muy Fuerte	4.5 - 5.0
Acido Fuerte	5.1 - 5.5
Moderadamente Acido	5.6 - 6.0
Ligeramente Acido	6.1 - 6.5
Neutro	6.6 - 7.3
Ligeramente Alcalino	7.4 - 7.8
Moderadamente Alcalino	7.9 - 8.4
Alcalino Fuerte	8.5 - 9.0
Alcalino Muy fuerte	> 9.0

Fuente: Adaptación departamento de agricultura de los Estados Unidos

b) Conductividad Eléctrica:

Tabla 02: Clasificación de suelos por C.E, según el departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

Conductividad Eléctrica (dS/m)	Clase de Salinidad
0 – 0.98	No salino
0.98 – 1.71	Muy ligeramente salino
1.71 – 3.16	Ligeramente salino
3.16 – 6.07	Moderadamente salino
> 6.07	Fuertemente salino

Fuente: Adaptación departamento de agricultura de los Estados Unidos

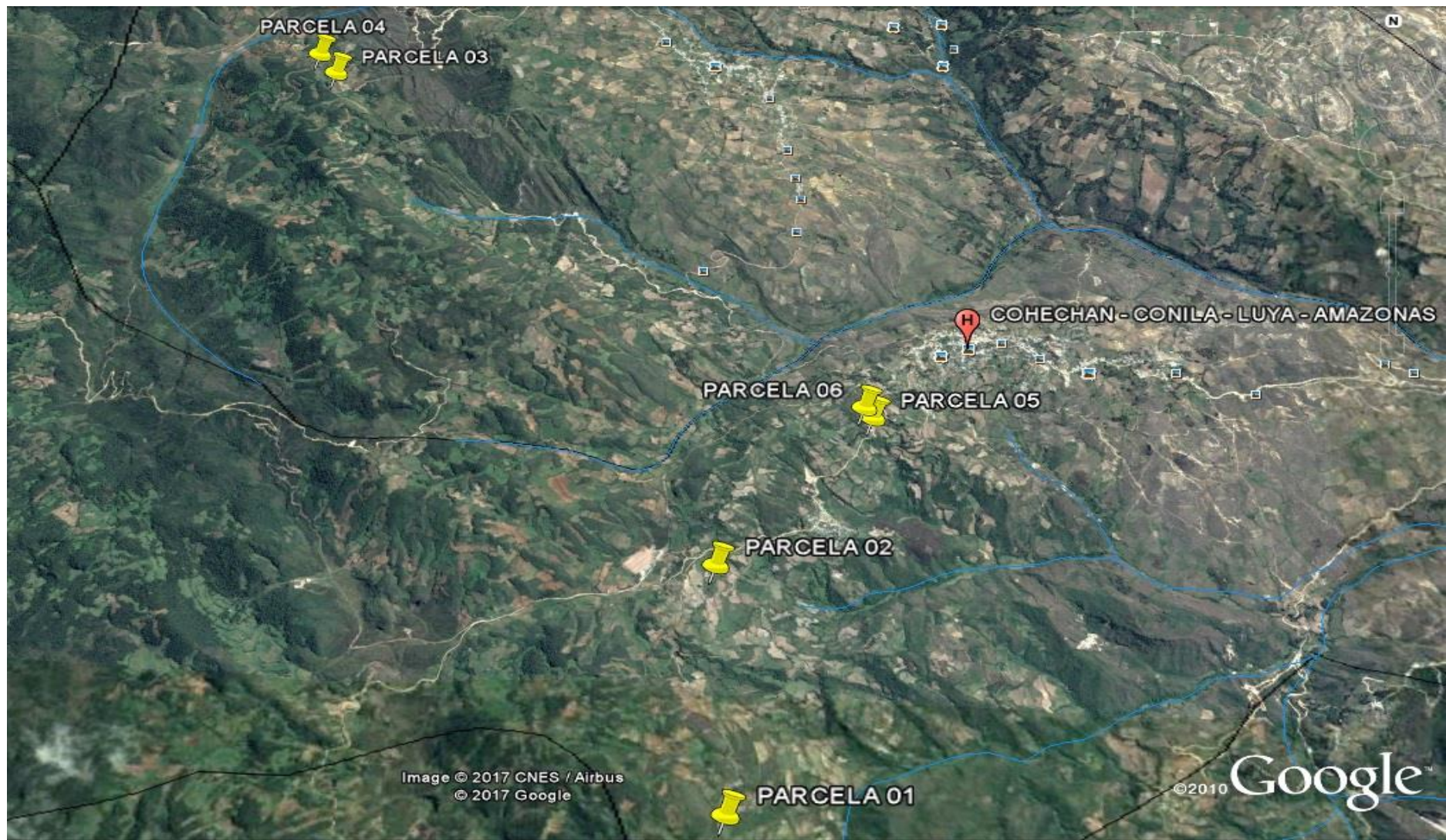
Asimismo, como segunda parte del análisis de datos se utilizó el software estadístico R40 v17, con la cual se determinó la varianza significativa para cada uno de los tratamientos.

V. RESULTADOS

5.1. Identificación de parcelas y caracterización del proceso productivo de cultivo de papa

Para la identificación de parcelas se trabajó con la Asociación de Productores Agropecuarios San Juan Bautista, los cuales fueron encuestados para conocer la caracterización del proceso productivo del cultivo de papa. El estudio se realizó solo en las parcelas en las cuales la única variedad de papa cultivada era la de huairo, en este caso fueron solo 06 las parcelas de donde se recogió las muestras correspondientes.

- **Parcela 1:** tiene un área total de 1500.9 m², ubicado a una altitud de 2803 m.s.n.m. con coordenadas E: 828486 y N: 9313577
- **Parcela 2:** tiene un área total de 2206.8 m², ubicado a una altitud de 2779 m.s.n.m. con coordenadas E: 828500 y N: 9312255.
- **Parcela 3:** tiene un área total de 7264 m², ubicado a una altitud de 2992 m.s.n.m. con coordenadas E: 826512 y N: 9316746.
- **Parcela 4:** tiene un área total de 3950 m², ubicado a una altitud de 2998 m.s.n.m. con coordenadas E: 826423 y N: 9316871.
- **Parcela 5:** tiene un área total de 221 m², ubicado a una altitud de 2789 m.s.n.m. con coordenadas E: 829296 y N: 9314484.
- **Parcela 6:** tiene un área total de 2093 m², ubicado a una altitud de 2785 m.s.n.m. con coordenadas E: 829263 y N: 9314498.



Mapa N° 02: Mapa de Localización de parcelas muestreadas en la localidad de Cohechan.

5.2. Caracterización del proceso productivo del cultivo de papa (encuesta)

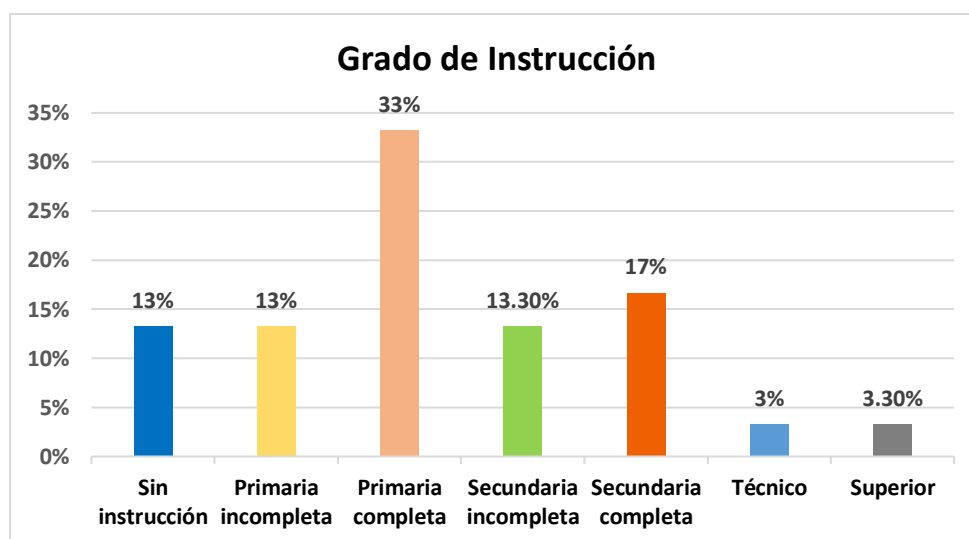


Figura 05: Grado de Instrucción

Según los datos obtenidos por la encuesta realizada y mediante el gráfico de barras podemos observar que los agricultores que se dedican al cultivo de papa huairo, el 33% tiene solo primaria completa y el 6.6% cuenta con estudios superiores o técnicos.

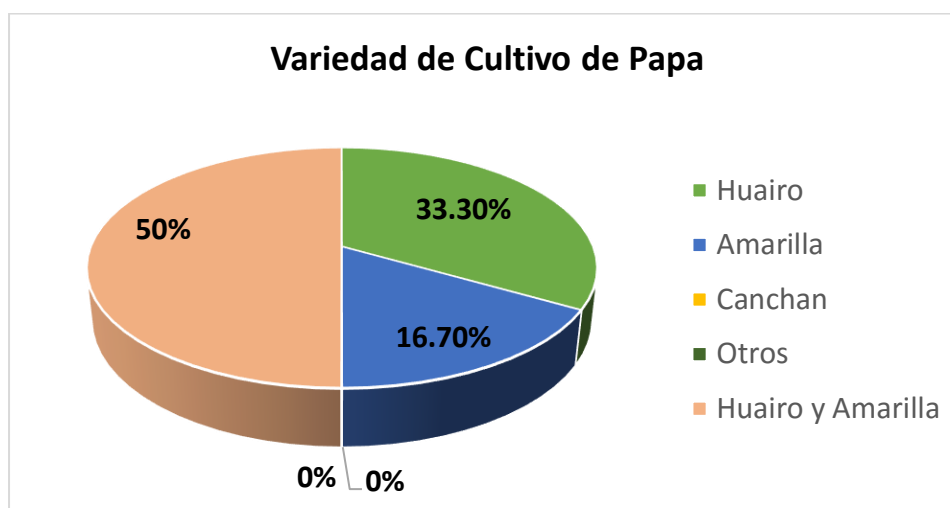


Figura 06: Variedad de cultivo de papa

Para la variedad de cultivo de papa de los 30 encuestados, el 50% se dedican a cultivar dos variedades de papa siendo estas la papa amarilla y la papa huairo, el 16.7% se dedica solo a cultivar papa amarilla y el 33.3% se dedica al cultivo de papa huairo, el mismo que es de mayor producción.

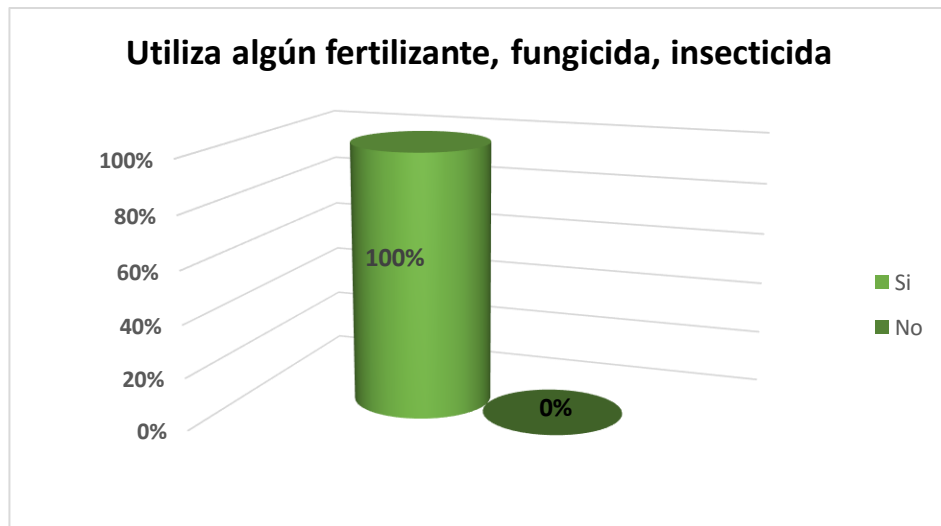


Figura 07: Utiliza algún fertilizante, fungicida, insecticida

El 100% de los agricultores encuestados utilizan por lo menos un tipo de fertilizante, fungicida e insecticida para el cultivo de papa desde la siembra hasta la cosecha del mismo.

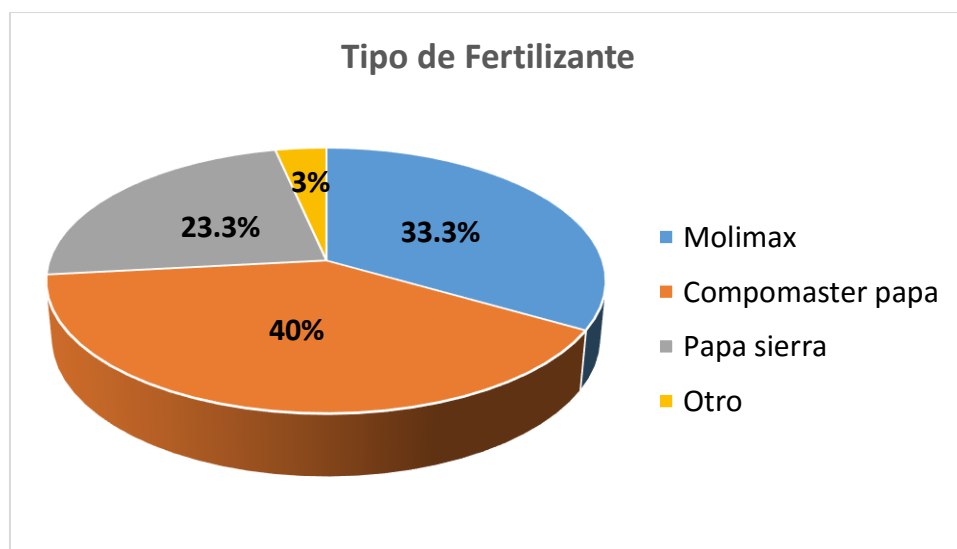


Figura 08: Tipo de Fertilizante

Entre los fertilizantes más utilizados por los agricultores de Cohechán tenemos a Molimax con 33.3%, Compomaster papa con 40%, Papa sierra con 23.3% y otros (Macollador Plus) con 3.4%. Compomaster Papa es el fertilizante más usado, debido a que en su composición química cuenta con concentración de potasio, lo cual genera una mayor producción.

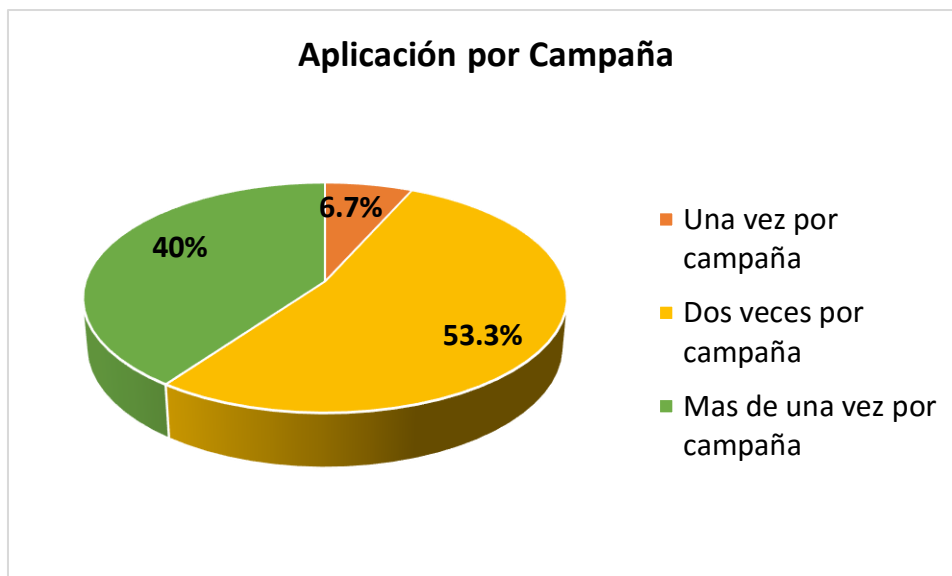


Figura 09: Aplicación por campaña

De los fertilizantes antes mencionados la aplicación de estos varía desde una vez por campaña hasta más de una vez por campaña (máximo hasta 3 veces por campaña), siendo el 53.3% la aplicación de dos veces por campaña y el 6.7% solo una vez por campaña.

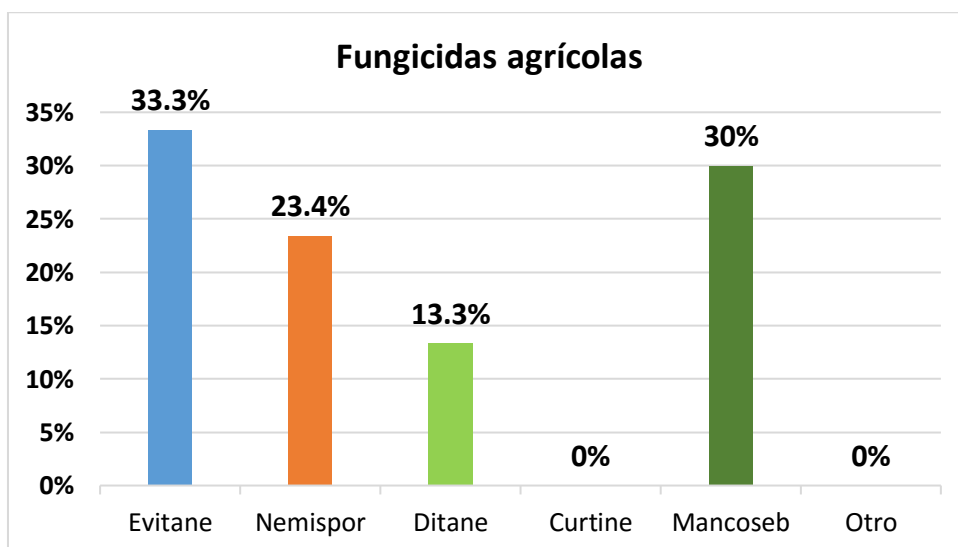


Figura 10: Fungicidas agrícolas

En fungicidas agrícolas el más utilizado con 33.3% es Evitane por no tener reacción alcalina al ser mezclado con otros fertilizantes o insecticidas además de ser usado en tiempo de verano, luego le sigue Mancoseb con 30%.

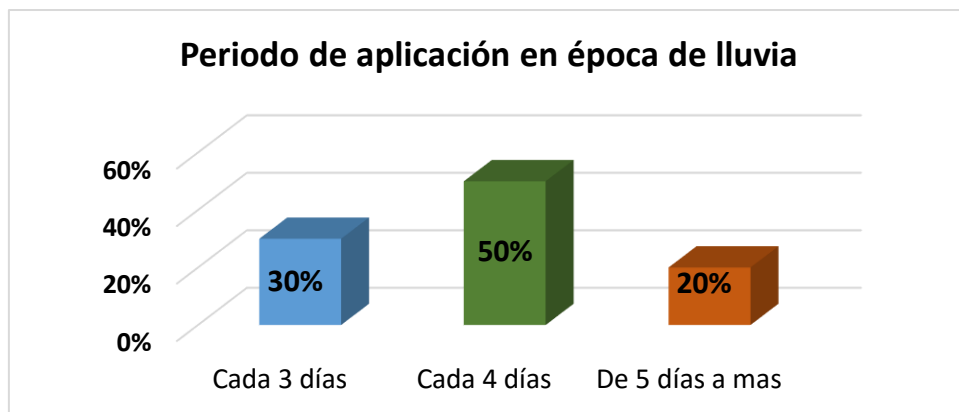


Figura 11: Periodo de aplicación en época de lluvia

El periodo de aplicación va desde los 3 días hasta los 5 días a más, pero generalmente en temporada de lluvia la aplicación de fungicidas es de 4 días (50%) como se muestra en el gráfico de barras.

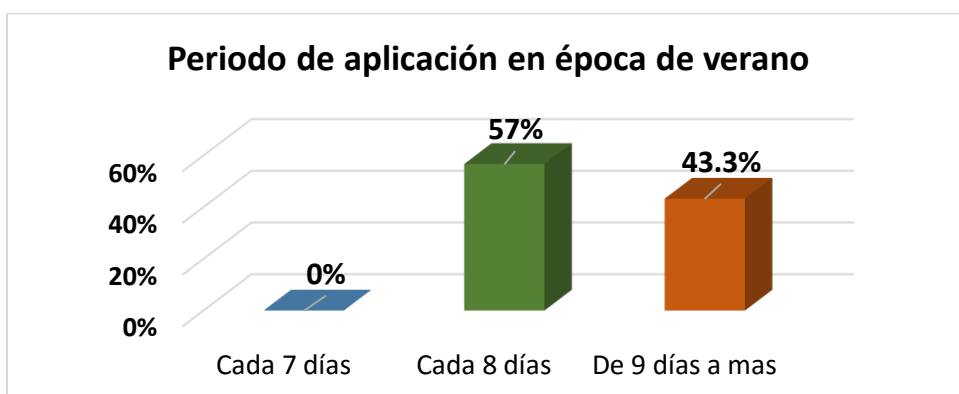


Figura 12: Periodo de aplicación en época de verano

En época de verano el periodo de aplicación es cada 8 días (56.7%), máximo hasta 10 días (43.3%), por lo mismo que los cultivos de papas no necesitan mucha fumigación.

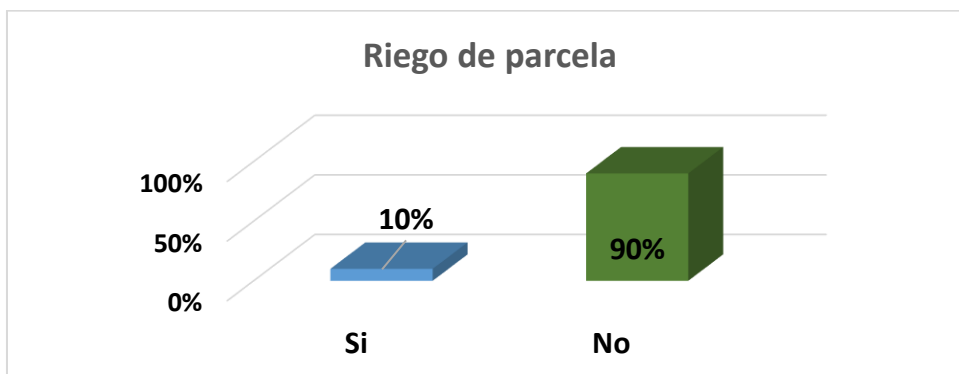


Figura 13: Riego de parcela

En caso de riego de parcela los agricultores en su mayoría no realizan riego debido al clima lluvioso que presenta la localidad de Cohechan.

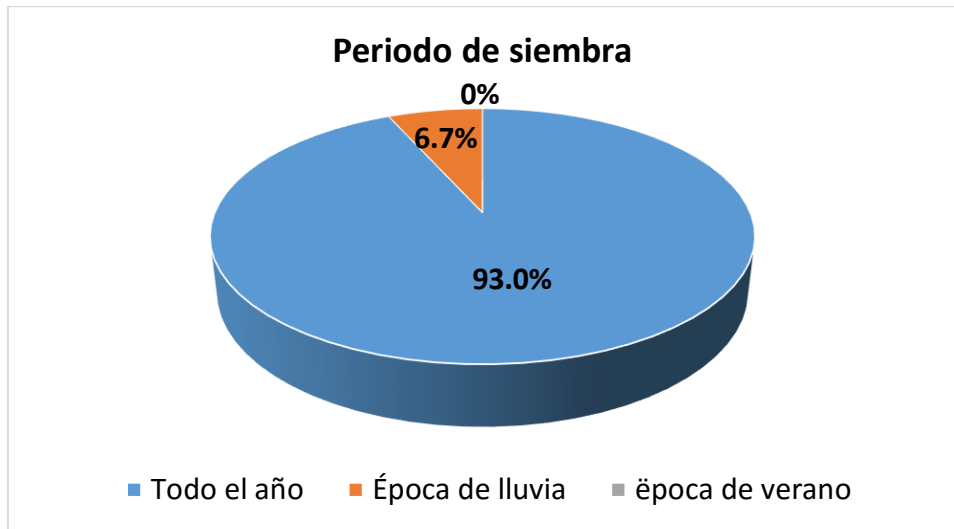


Figura 14: Periodo de siembra

En el periodo de siembra el 93% de los agricultores lo realiza durante todo el año y un 6.7% prefiere hacerlo en época de lluvia para tener una mayor producción.

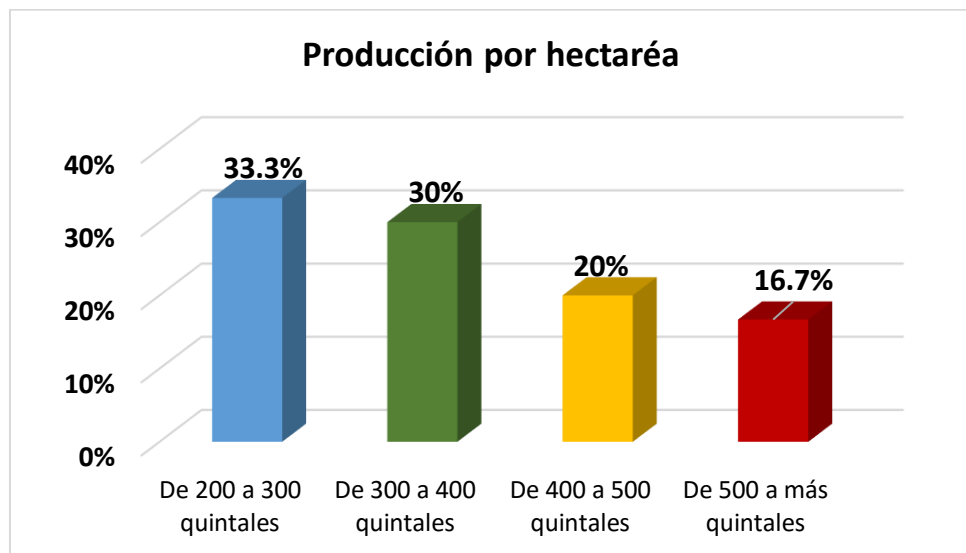


Figura 15: Producción por hectárea

Según datos logrados mediante la encuesta, los agricultores en su producción pueden llegar a producir como mínimo 200 quintales (33.3%) y como máximo 500 quintales a mas (16.7%).

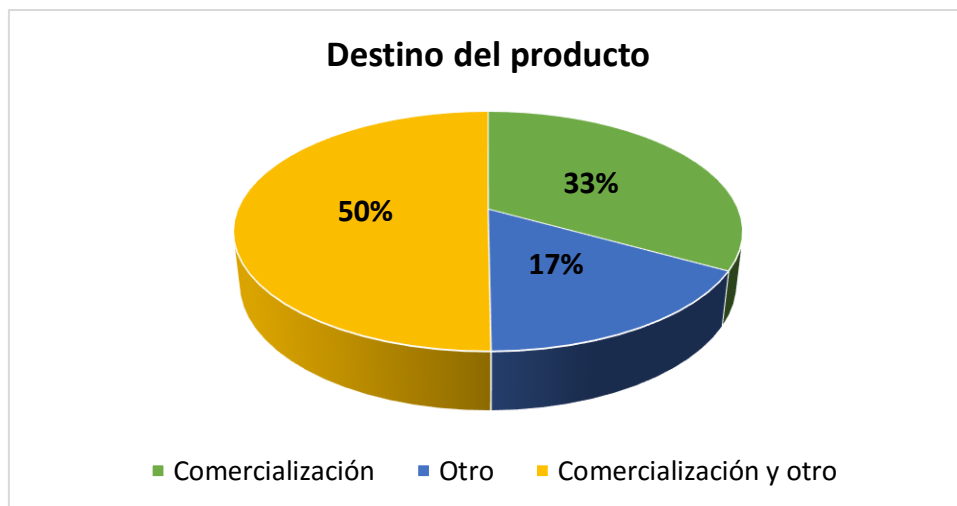


Figura 16: Destino del producto

El destino del producto va en su mayoría para la comercialización, otros productores (17%) se dedican al cultivo de papa pero siendo para autoconsumo.

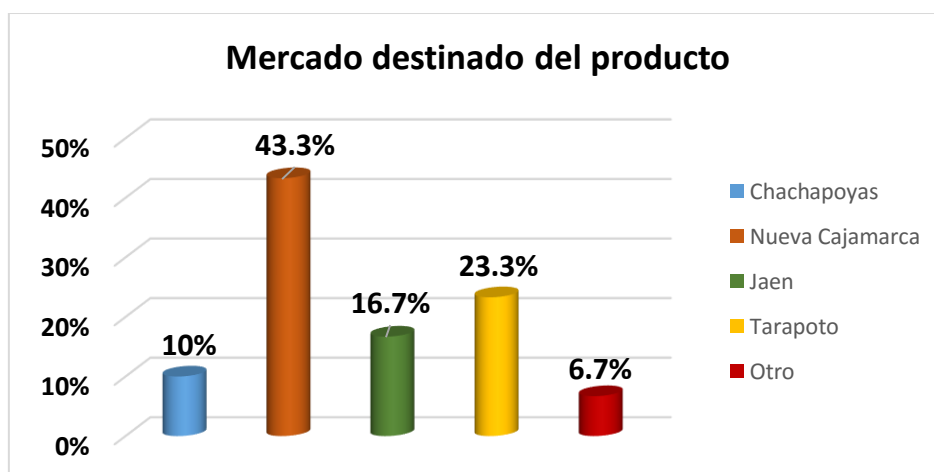


Figura 17: Mercado destinado del producto

Los mercados destinados para el producto son Chachapoyas (10%), Nueva Cajamarca (43.3%), Jaén (16.7%), Tarapoto (23.3%) y otro (6.7%).

5.3. Resultados de Cadmio, pH y Conductividad Eléctrica

5.3.1. Concentraciones de cadmio

El 77.8% de todas las muestras del tubérculo y el 100 % de las hojas muestreadas presenta concentraciones de cadmio superiores a los establecidos en el *Codex Alimentarius* y en cuatro de las seis parcelas muestreadas, los niveles de cadmio superan los estándares de calidad

ambiental de suelo para el uso agrícola y cuatro de las seis muestras testigo superan también estos estándares.

En la tabla 03, se presenta las concentraciones de cadmio para las seis muestras de suelo, hojas y tubérculo de papa considerados en este estudio.

Tabla 03: Resultados de las Concentraciones de Cadmio

PARCELA	TUBÉRCULO	HOJA	SUELO	TESTIGO
1	0	4.63	2.38	4.1
1	0	3.63	2.23	4.1
1	0	4.5	2.73	4.1
2	0	2.88	1.02	1.52
2	0.25	2.13	1.27	1.52
2	0.44	2.5	1.43	1.52
3	0.13	2	0.97	0.44
3	0.25	3.13	1.19	0.44
3	0.25	3	0.69	0.44
4	0.13	1.88	6.48	0.72
4	0.25	1.5	0.79	0.72
4	0.13	2.88	4.71	0.72
5	0.13	3.38	0.29	1.16
5	0.13	4	1.17	1.16
5	0.25	3.38	0.27	1.16
6	0.13	5.38	1.5	1.09
6	0.25	11.13	0.79	1.09
6	0.25	4.75	4.66	1.09

5.3.2. Concentración de Cadmio en Tubérculo y Comparación con los Límites Máximos Permisibles

a) Análisis Gráfico

La parcela con mayor concentración de cadmio es la parcela 2 con una concentración de 0.23 ppm, las parcelas 3 y 6 presentan la misma concentración con 0.21 ppm, de la misma manera las parcelas 4 y 5 presentan una concentración de cadmio de 0.17 ppm; la parcela 1 no presentó concentración de cadmio en ninguna de sus muestras. Cinco de las seis parcelas muestreadas sobrepasan los límites permisibles de cadmio en tubérculo (0.1ppm) y solo la parcela 1 no presenta ninguna cantidad de Cd en los tubérculos.

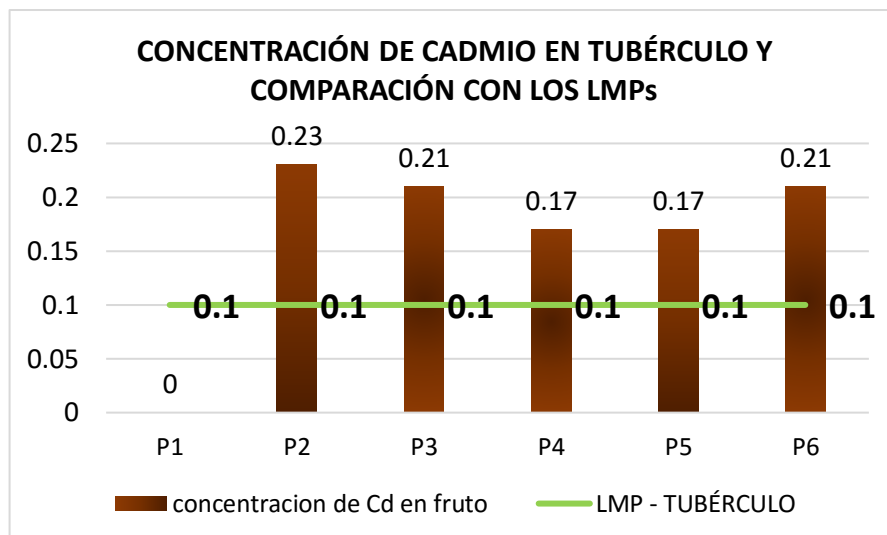


Figura 18: Concentración de cadmio en tubérculo y comparación con los LMPs en cada parcela.

b) Análisis Estadístico

La prueba de Kruskal wallis para determinar diferencia significativa de concentración de cadmio en el fruto (esta prueba se utiliza cuando los datos no siguen una comparación normal).

Variable	TUBÉRCULO	
	Chi ²	P
CADMIO	11.577	0.07.

Tabla 04: Comparación de las muestras de tubérculo entre las parcelas de estudio.

Comparación	P value	Sig.
P1 - P2	0.0116	*
P1 - P3	0.0058	**
P1 - P4	0.0179	*
P1 - P5	0.0179	*
P1 - P6	0.0058	**
P1 - T	0.3718	
P2 - P3	0.7304	
P2 - P4	0.8293	
P2 - P5	0.8293	
P2 - P6	0.7304	
P2 - T	0.0681	.
P3 - P4	0.5769	
P3 - P5	0.5769	
P3 - P6	1.0000	
P3 - T	0.0354	*
P4 - P5	1.0000	
P4 - P6	0.5769	
P4 - T	0.1007	
P5 - P6	0.5769	
P5 - T	0.1007	
P6 - T	0.0354	*

Del análisis estadístico al comparar los resultados entre parcelas resultó que las parcelas 1 & 3 al igual que las parcelas 1 & 6 tiene un nivel de significancia mediana; las parcelas 1&2 al igual que las parcelas 1 & 4 y 1 & 5 tienen una significancia notablemente mínima, la parcela 3 y la muestra testigo y la parcela 6 con la muestra testigo presentan una significancia baja; por otro lado, la parcela 2 con la muestra testigo presenta una significancia mínima. (Tabla 04).

5.3.3. Concentración de Cadmio en Hoja y Comparación con los límites Máximos Permisibles.

a) Análisis Gráfico

La parcela con mayor concentración de cadmio en las hojas es la 6 con una concentración de 7.09 ppm, la parcela 4 es la que presenta menor concentración de cadmio con 2.09 ppm.

Todas las muestras de hoja en las seis parcelas sobrepasan los límites máximos permisibles (0.1ppm) siendo la mayor concentración el de la parcela 6 con 7.09 ppm y la parcela con menor concentración la de la parcela 4 con 2.09 ppm.

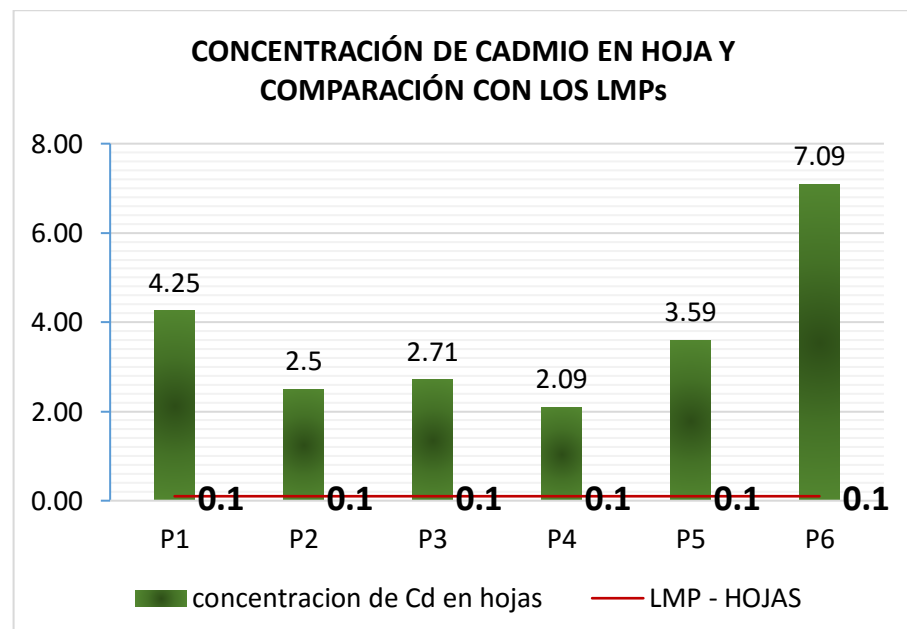


Figura 19: Concentración de cadmio en hojas y comparación con los LMPs en cada parcela.

b) Análisis Estadístico

Para determinar diferencia significativa de la concentración de cadmio en la hoja se trabajó con la prueba alternativa de Kruskal Wallis, la cual se utiliza para los datos que no siguen una distribución normal.

Variable	HOJA	
	Chi ²	P
CADMIO	18.648	0.004**

**= Significativa

Al comparar las muestras entre parcelas con el análisis estadístico resultó que el 52.4% presenta una diferencia significativa alta, el 14.3% presenta diferencia significativa media y el 4.8% presenta diferencia significativa mínima (Tabla 05).

Tabla 05: Comparación de las muestras de hoja entre las parcelas de estudio

Comparación	P value	sig
P1-P2	0.0001	***
P1-P3	0.0005	***
P1-P4	0.000	***
P1-P5	0.1597	
P1-P6	0.0522	.
P1-P7	0.000	***
P2-P3	0.3559	
P2-P4	0.2237	
P2-P5	0.0015	**
P2-P6	0.000	***
P2-P7	0.0015	**
P3-P4	0.0428	*
P3-P5	0.0101	*
P3-P6	0.000	***
P3-P7	0.000	***
P4-P5	0.000	***
P4-P6	0.000	***
P4-P7	0.0190	*
P5-P6	0.0029	**
P5-P7	0.000	***
P6-P7	0.000	***

5.3.4. Concentración de Cadmio en Suelo y Comparación con los Límites Máximos Permisibles.

a) Análisis Gráfico

En las parcelas 1, 2 y 5 las concentraciones de cadmio en las muestras de suelo libre de cultivo (testigo) son más elevadas que en las muestras de suelo de las áreas de cultivo de papa, siendo el testigo de la parcela 1 la mayor con una concentración de 4.1 ppm.

En las parcelas 2, 3 y 6 las muestras tomadas como testigo presentan menor concentración de cadmio, siendo el testigo de la parcela 3 la que presenta menor concentración de cadmio con 0.44 ppm. Tres de las seis parcelas con muestras de suelo sobrepasan los límites máximos permisibles de concentración de cadmio en suelo agrícola (1.4 ppm), siendo la parcela 4 la que presenta mayor concentración con 3.99 ppm. Las parcelas 2, 3 y 5 presentan concentraciones dentro de los límites establecidos, la parcela 4 presenta menor concentración de cadmio con 0.72 ppm.

Las concentraciones de cadmio de las muestras testigo de las parcelas 1 y 2 sobrepasan los límites establecidos, siendo el testigo de la parcela 1 la que presenta mayor concentración de cadmio con 4.1 ppm. La muestra testigo con menor concentración de cadmio es de la parcela 3 con 0.44 ppm.

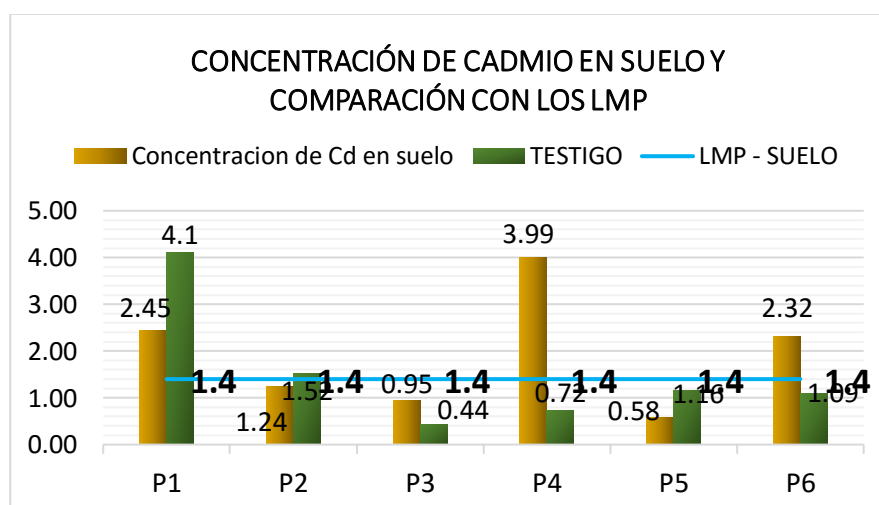


Figura 20: Concentración de cadmio en suelo y comparación con los LMPs en parcelas con cultivo de papa y en áreas sin cultivo (testigo).

b) Análisis Estadístico

Tabla 06: Análisis de Varianza

	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F Calculado	Pr > F
SUELO	0.0073	0.0073	0.0034	0.95465
TESTIGO	21.7056	21.7056	9.9666	0.006994**
SUELO: TESTIGO	0.2974	0.2974	0.1365	0.717274

Al realizar el análisis de varianza entre parcelas y las muestras testigo, resultó lo siguiente: Entre parcelas y muestras testigo, no existe diferencia significativa al igual que en la comparación entre parcelas; y entre las muestras testigo existe diferencia significativa media y entre parcelas (Tabla 06).

5.3.5. Mediciones de pH y Conductividad eléctrica

En la tabla 07, se presenta las mediciones de pH y conductividad para las seis muestras de suelo.

Tabla 07: Resultados de las mediciones de pH y conductividad eléctrica

PARCELA	SUELO	PH	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA
P1	M1	5.06	0.30
	M2	5.66	0.32
	M3	5.51	0.26
P2	M1	4.90	0.32
	M2	5.63	0.42
	M3	5.73	0.28
P3	S1-B1	4.47	0.77
	S2-B1	4.56	0.89
	S3-B1	4.28	0.90
P4	S1-B2	6.30	0.36
	S2-B2	4.41	0.34
	S3-B2	5.00	0.35
P5	S1-H1	4.61	0.35
	S2-H1	4.66	0.80
	S3-H1	4.3	0.58
P6	S1-H2	4.72	0.54
	S2-H2	4.46	0.22
	S3-H2	5.29	0.58

➤ **PH**

Tabla 08: Análisis de varianza

Fuente de Variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor de F Calculado	Pr > F
Tratamientos	5	0.9971	0.99705	3.2733	0.08924.
Error	12	4.8736	0.30460		
Total	17	5.8707			

Al realizar el análisis de varianza se indica que las variables existen diferencias significativas en cuanto al pH y la comparación entre parcelas de muestreo (Tabla 08).

Tabla 09: Prueba de Tukey

Parcelas	pH	Prueba de Tukey
P1	5.41	A
P2	5.42	A
P3	4.437	A
P4	5.237	A
P5	4.523	A
P6	4.823	A

Al realizar la prueba de Tukey entre parcelas, resultó lo siguiente: No existe diferencia significativa entre los valores de pH obtenidos por parcelas (Tabla 09).

- **Conductividad Eléctrica:** Para determinar diferencia significativa de la conductividad eléctrica se trabajó con la prueba alternativa de Kruskal Wallis, la cual se utiliza para los datos que no siguen una distribución normal.

Variable	SUELO	
CE	Chi ²	P
	10.976,	0.05187.

Tabla 10: Comparación de Conductividad Eléctrica entre las parcelas de estudio.

Comparación	P value	Sig
P1-P2	0.4041	
P1-P3	0.0013	**
P1-P4	0.1561	
P1-P5	0.0142	*
P1-P6	0.1309	
P2-P3	0.0064	**
P2-P4	0.5288	
P2-P5	0.0687	.
P2-P6	0.4638	
P3-P4	0.0212	*
P3-P5	0.2190	
P3-P6	0.0259	*
P4-P5	0.2016	
P4-P6	0.9157	
P5-P6	0.2376	

Al comparar las muestras de conductividad eléctrica entre parcelas con el análisis estadístico resultó que existen diferencias significativas medias y bajas, es decir que los valores de conductividad eléctrica en suelo difieren entre parcelas.

VI. DISCUSIÓN

En el presente estudio, se evaluó las concentraciones de cadmio y los resultados obtenidos fueron superiores a las establecidas en los estándares de calidad ambiental para suelos 1,4 mg/kg, resultados similares fueron los mostrados en suelos agrícolas en Cajamarca (Luna & Rodríguez, 2006). El cadmio, como otros metales pesados, está presente en el suelo de forma natural, pero su disponibilidad y concentración puede incrementarse por precipitaciones fluviales y actividades antropogénicas (Puga, A. P., Abreu, C. A., Melo, L. C. A., & Beesley, L, 2015; Liu, Y., Zhang, C., Zhao, Y., Sun, S., & Liu, Z, 2016).

La muestra seleccionada fue la papa, debido a que estas son de consumo frecuente y de mayor acceso para la población. Generalmente los tubérculos son bajos en concentraciones de cadmio, sin embargo la revista "The National Cadmium Minimisation Committee" clasifica a la papa como alimento de alta susceptibilidad a la captación de cadmio debido que para su cultivo y crecimiento, tienen un contacto más prolongado en el suelo; mismos que podrían estar contaminados con cadmio, por lo que propicia su absorción (Committee, 2003).

Los grados de movilidad y disponibilidad de ciertos metales pesados dependen de varios factores tales como el pH, la temperatura, capacidad de intercambio catiónico (CIC), conductividad eléctrica varios autores también creen que la movilidad de los metales pesados en el suelo está influenciada por la superficie, textura, densidad, contenido de materia orgánica, el tipo y concentración de minerales de arcilla específicos, además para el tipo y contenido de metales. Sin embargo, uno debe hacer referencia a la variación de diferentes propiedades del suelo en distancias cortas, en el área estudiada, la práctica agrícola se basa en la adición de nutrientes a través de fertilizantes fosfatados, por lo cual en la presente investigación los agricultores entrevistados, en su mayoría hacen uso de fertilizantes y fungicidas; este con gran contenido de fosfatos en su composición, lo cual incrementan considerablemente el contenido de Cd en el suelo (Corguinha *et al.*, 2012).

Estas concentraciones muestran una correlación significativa con el pH, según la prueba Pearson. Un pH con valores inferiores al neutro puede resultar en una mayor disponibilidad de Cd en el suelo (Evangelou, M. W., Daghan, H., & Schaeffer, A, 2004; Wang, F., Ouyang, W., Hao, F., Lin, C., & Song, N, 2014). Para el caso de la parcela número 04 en los puntos de muestreo, con un valor de 6.48 ppm correspondiente al punto de muestreo S1-B2 del suelo y en la misma parcela de muestreo, en el punto S3-B2 del suelo se encontró 4.71 ppm. De forma similar la parcela número 06 la mayor concentración de cadmio uno con valores de 4.66 ppm y 1.5 ppm para los puntos de muestreo S3-H2 y S1-H2. En general, la mayor concentración se encuentra en las parcelas número 04 y 06.

Es importante mencionar, que las concentraciones de Cd para la muestra testigo y las parcelas testeadas no presentan diferencia significativa al 5% de confianza, pudiendo atribuir la existencia de este metal pesado a la formación rocosa que dio origen al suelo; sin embargo, se debería descartar la presencia de cadmio producto de impurezas en fertilizantes fosfatados (Williams & David, 1976), que pudieron ser adicionados en campañas de cultivo anteriores.

Con respecto a las plantaciones de papa, los resultados nos muestran una diferencia significativa entre parcelas muestreadas en términos de tubérculo, sin embargo las concentraciones son superiores a las dispuestas en el *Codex Alimentarius* (0.05mg/kg para papa sin pelar y hojas y 0.1 para papa pelada), resultados que van de la mano de los vistos en la cuenca del río Mashcón, Cajamarca donde el 100% de las muestras de papa presentaban concentraciones de Cd superiores a los estándares para seguridad alimentaria (Luna & Rodríguez., 2006), similares valores se cuantificaron en Colombia en parcelas de papa bajo fertilización fosfatada periódicamente (Mariño *et al.*, 2016); sin embargo los valores hallados en Cohechan difieren a los encontrados por Corguinha y colaboradores en Brasil en cultivos de papa bajo similares condiciones (2014).

Las muestras de papas analizadas en este estudio presentaron un contenido de cadmio promedio de 0.16 ppm encontrándose entre los rangos de concentración expuestos por Mariño *et al.* (2016). Cabe destacar que

diversas investigaciones han argumentado que la distribución de cadmio en las papas no es homogénea (Dunbar *et al.*, 2003; Reid *et al.*, 2003; Maiga *et al.*, 2005; Sekara *et al.*, 2005).

Teniendo en cuenta que la papa puede ser un bioacumulador de los excesos de las sustancias presentes en los ecosistemas agrícolas, los resultados presentados pueden indicar la contaminación de suelos o condiciones de pH favorables para el intercambio de este mineral, como fue un estudio exploratorio no se puede demostrar específicamente de dónde proviene este metal, pero en forma general, la contaminación del suelo por cadmio es a menudo consecuencia directa o indirecta de las actividades antropogénicas.

Cabe mencionar que las mayores concentraciones de Cd se encontraron en las hojas de papa, resultados similares fueron encontrados por Xu *et al.* (2003), asimismo Chen *et al.* (2014) afirma que el órgano con mayor concentración de cadmio son las hojas seguido por el sistema radicular y los tubérculos. Las plantas en función de su comportamiento ante la presencia de metales en el ambiente pueden clasificarse como acumuladoras porque incrementan activamente metales en sus tejidos. Hay líneas de investigación que analizan las diferencias en la concentración de cadmio en las distintas partes de los cultivos permitiendo conocer la posible entrada de cadmio a la cadena trófica, ya que la entrada de metales dependerá de si estos se acumulan en la parte comestible o no de la planta.

Por lo general el contenido de Cd en el tejido foliar está ligado a los momentos fisiológicos en los que se llevaron a cabo los muestreos, ya que las plantas tienen diversas rutas metabólicas (Miranda *et al.*, 2008). En esto como en otro estudio relacionado (Ni *et al.*, 2002) no se encontraron síntomas de deficiencia nutricional o de toxicidad visibles en la planta del cultivo de papa.

VII. CONCLUSIONES

- * En la localidad de Cohechan se identificó 6 parcelas de cultivo de papa de la variedad huairo (variedad que se consideró para el estudio) del total del cultivo de papa que se encontró en la zona, los mismos que sobrepasan los límites máximos permisibles.
- El cultivo de papa en la localidad de Cohechan, tienen el mismo sistema de producción, debido a su clima no realizan riego, los productos químicos que utilizan, es un 40% Compomaster Papa, 33.3% Molimax, 33.3% Evitane y 30% Mancoseb; la aplicación por campaña el 53.3% lo hace dos veces, de la producción obtenida el 33% es destinado para comercio y un 17% para autoconsumo.
- * Los cultivos de papa analizados en la localidad de Cohechan, presentan concentraciones superiores de cadmio a las establecidas por el *Codex Alimentarius* y los estándares de calidad ambiental para suelos, con un máximo de 11.13 ppm y mínimo 1.50 ppm de Cd en hoja, para el caso de tubérculo un máximo 0.44 ppm y mínimo 0.00 ppm y para suelo un máximo de 6.48 ppm y mínimo de 0.27 ppm; atribuyendo estos valores a los manejos agrícolas que mediante el uso de agroquímicos fosfatados pueden contribuir con el aumento de Cd. disponible en suelo, adicionalmente se encontró que el órgano que mayores concentraciones de este metal pesado presenta son las hojas, pudiendo deberse al tipo a los fertilizantes foliares usados comúnmente en esta localidad.

VIII. RECOMENDACIONES

En base a los resultados de la presente investigación se recomienda lo siguiente:

- ❖ Una mayor fiscalización en el uso de agroquímicos con posibles trazas de metales pesados.
- ❖ Implementar programas para fortalecer las capacidades productivas de los agricultores de la localidad de Cohechan en miras del desarrollo sostenible de dicha localidad.
- ❖ Capacitar a los agricultores en temas de manejo y rotación de cultivos.
- ❖ Brindar talleres de capacitación a los agricultores sobre las principales enfermedades como consecuencia de la ingesta de metales pesados (Cd) y el uso inadecuado de productos químicos.

Para investigaciones posteriores se recomienda:

- ❖ Tener especial cuidado al momento de selección de los tubérculos, así como en el proceso de preparación de la muestra para evitar su contaminación.
- ❖ Realizar el análisis de las concentraciones de cadmio en diferentes épocas del año debido a que las concentraciones de este metal suelen variar con la precipitación.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bañuelos G.S., Ajawa H.A., Mackey, M., Wu, L., Cook, C., Akohoue, S. y Zambruzuki, S. (1997). Evaluation of different plant species used for phytoremediation of high soil selenium. *J. Environ. Qual*, 26(3), 639-646. Páginas.
- Censo Nacional Agropecuario (2012). Recuperado de <http://censos.inei.gob.pe/cenagro/tabulados>.
- Cieslinski, G.; K.C.J. Van Rees; P.M. Huang; L.M. Kozak; H.P.W. Rostad y D.R. Knott. (1996). Cadmium uptake and bioaccumulation in selected cultivars of durum wheat and flax as affected by soil type. *Plant Soil* 182:115-124.
- Chapman, H. (1946). *Methods of analysis for soils plant and waters*. University of California.
- Charter, R. A.; M. A. Tabatabai y J. W. Schafer. (1993). Metal contents of fertilizers marketed in Iowa. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 24: 961-972.
- Chen, Z., Zhao, Y., Gu, L., Wang, S., Li, Y., & Dong, F. (2014). Accumulation and localization of cadmium in potato (*Solanum tuberosum*) under different soil Cd levels. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 92(6), 745-751.
- Christensen, T. H., Haung, P. M. 1999. Solid phase cadmium and the reactions of aqueous cadmium with soil surfaces. En: *Cadmium in Soils and Plants* (eds. McLaughlin, M. J. y Singh, B.R.), pp. 65-96. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands.
- Clemens, S., Aarts, M. G., Thomine, S., & Verbruggen, N. (2013). Plant science: the key to preventing slow cadmium poisoning. *Trends in plant science*, 18(2), 92-99.
- Corguinha, A. P. B., Gonçalves, V. C., de Souza, G. A., de Lima, W. E. A., Penido, E. S., Pinto, C. A. B. P., & Guilherme, L. R. G. (2012). Cadmium in potato and soybeans: Do phosphate fertilization and soil management systems play a role? *Journal of Food Composition and Analysis*, 27(1), 32-37.
- Committee, t. N (2003). Cadmium in Potatoes. Managing the risk from saline irrigation water.

- Dunbar KR, Mc Lauglin MJ, Reid RJ. (2003). The uptake and partitioning of cadmium in two cultivars of potato (*Solanum Tuberosum* L.). *J Exp Bot*; 54:349-354.
- Evangelou, M. W., Daghan, H., & Schaeffer, A. (2004). The influence of humic acids on the phytoextraction of cadmium from soil. *Chemosphere*, 57(3), 207-213.
- FAO. 2014. Programa Conjunto FAO/OMS sobre Normas Alimentarias Comisión del *Codex Alimentarius* 37. Período de sesiones 14-18 de julio de 2014. Ginebra (Suiza).
- Ferguson, J.E. (1990). *The heavy metals: Chemistry, environmental impact and health effects*. Pergamon Press, Sydney.
- Ferrer, A. (2003). Intoxicación por metales. *Anales del sistema sanitario de Navarra* Vol. 26(1), 141-153. Páginas.
- Foodagri, C., & Session, F. (2005). Codex Alimentarius Commission.
- Gabe U. y A.A. Rodella. (1999). Trace elements in Brazilian agricultural limestones and mineral fertilizers. *Commun. SoilSci. Plant Anal.* 30:605-620.
- González, L. (2012) *Metales esenciales y tóxicos en papas antiguas, papas importadas y otros tubérculos comercializados en la isla de Tenerife. Evaluación toxicológica*, 978(1), 27 – 52. Páginas
- Gupta, U.C. y S.C. Gupta. (1998). Trace elements toxicity relationships to crop production and livestock and human health: implication for management. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 29:1491-1522
- Holmgren, G.G.S; M.W. Meyer; R.L. Chaney y R.B.Daniels. (1993). Cadmium, lead, zinc, copper, and nickel in agricultural soils of the United States of America. *J. Environ. Qual.* 22: 335-348.
- Huamaní, H., Mansilla, L., Florida, N., Neira, G., y Huauya, M. (2012). Presencia de metales pesados en cultivos de cacao (*Theobroma cacao* L.) orgánico. *Acta Agronómica*, 61(4), 339-344. Páginas.
- Hutchinson, T. C., & Meema, K. M. (1987). Lead, mercury, cadmium, and arsenic in the environment.

- Iretskaya, S.N. y S.H. Chien. (1999). Comparison of cadmium uptake by five different food grain crops grown on three soils of varying pH. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 30:441-448.
- Jinadasa, K.B.P.N.; P.J. Milham; C.A. Hawkins; P.S. Cornish; P.A. Williams; C.J. Kaldor y J.P. Conroy (1997). Survey of cadmium levels in vegetables and soils of Greater Sydney, Australia. *J. Environ. Qual.* 26:924-933.
- Kabata-Pendías S. y H. Pendías. (1984). Trace elements in soils and plants. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Lagriffoul, A.; B. Mocquot; M. Mench y J. Vangronsveld. (1998). Cadmium toxicity effects on growth, mineral and chlorophyll contents, and activities of stress related enzymes in young maize plants (*Zea mays* L.). *Plant Soil* 200:241-250.
- Lehoczky, E.; P. Marth; I. Szabados; M. Palkovics y P. Lukács. (2000). Influence of soil factors on the accumulation of cadmium by lettuce. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 31:2425-2431.
- Liu, Y., Zhang, C., Zhao, Y., Sun, S., & Liu, Z. (2016). Effects of growing seasons and genotypes on the accumulation of cadmium and mineral nutrients in rice grown in cadmium contaminated soil. *Science of the Total Environment*.
- Llamas, A.; C.I. Ulrico y A. Sanz. (2000). Cd²⁺ effects on transmembrane electrical potential difference, respiration and membrane permeability of rice (*Oriza sativa* L.) roots. *Plant Soil* 219:21-28.
- Luna Arenas, R. N., & Rodríguez Lozada, V. A. (2006). Determinación de las concentraciones de cadmio y plomo en papa (*Solanum tuberosum*) cosechada en las cuencas de los ríos Mashcón y Chonta - Cajamarca.
- Ma, L.Q.; F. Tang y W.G. Harris. (1997). Concentration and distribution of eleven metals in Florida soils. *J. Environ. Qual.* 26:769-775.
- Maiga A, Diallo D, Bye R, Paulsen BS. (2005). Determination of some toxic and essential metal ions in medicinal and edible plants from Mali. *J Agric Food Chem*; 53: 2316-2321.

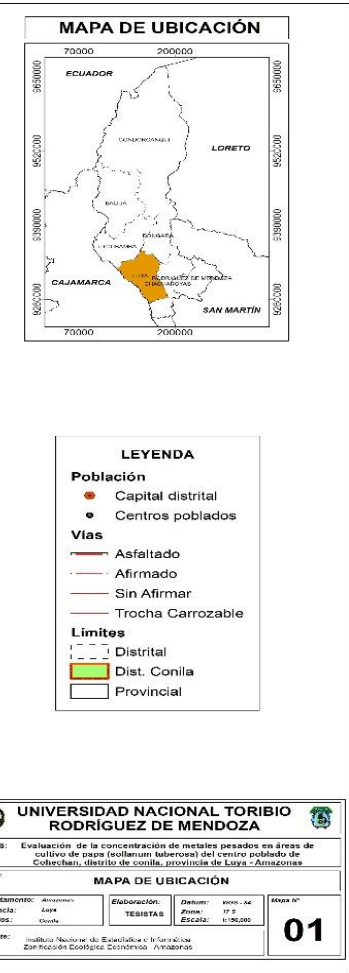
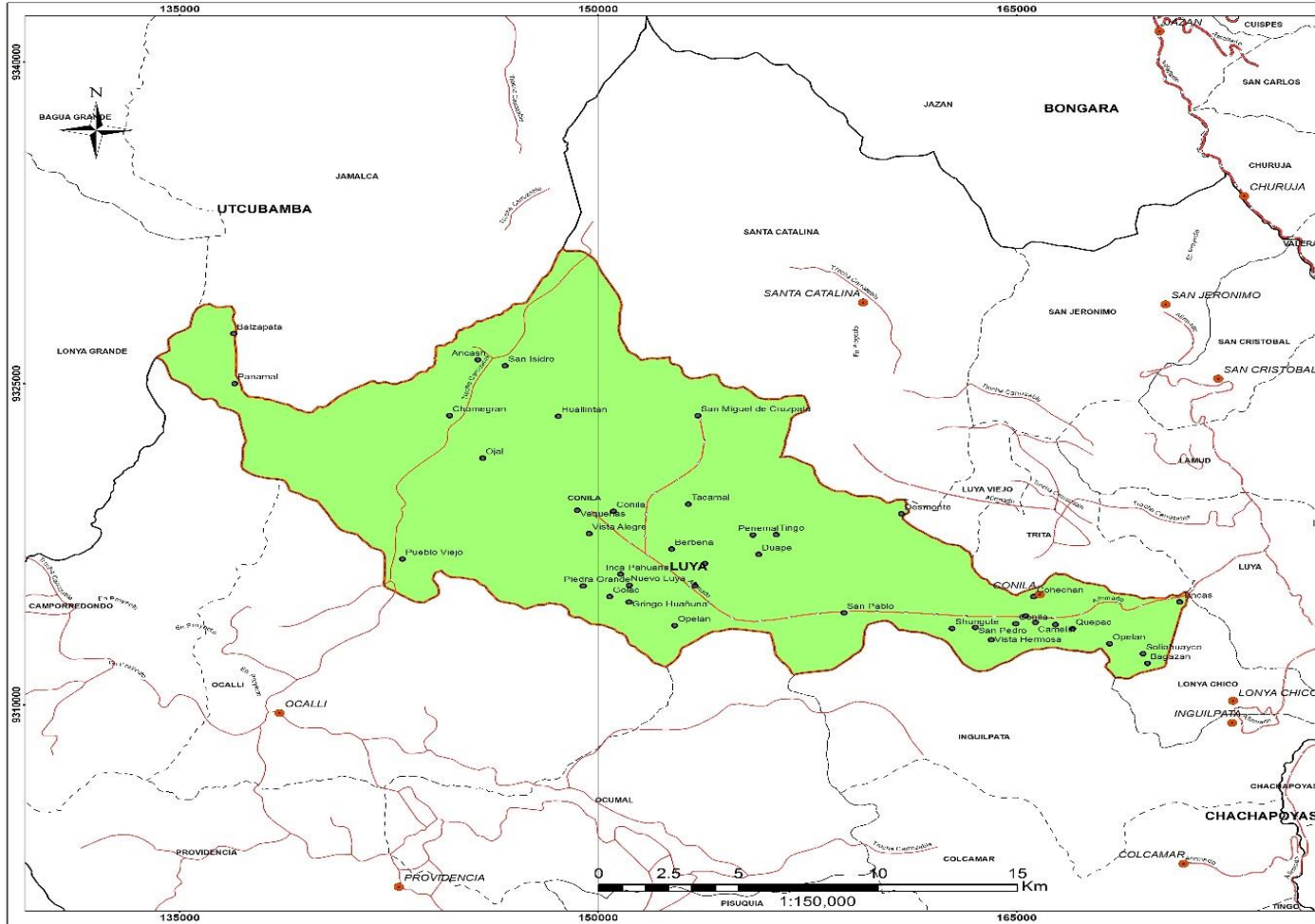
- Mariño, Y. L. M., Colmenares, J. M. G., & Acuña, S. P. C. (2016). Cuantificación voltamétrica de plomo y cadmio en papa fresca. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 19(1).
- Mermut, A. R.; J.C. Jain; L. Song; R. Kerrich; L. Kozak y S. Jana. (1996). Trace element concentrations of selected soils and fertilizers in Saskatchewan, Canada *J. Environ. Qual.* 25:845-853.
- Ministerio de Agricultura (2012). *La papa principales aspectos de la cadena agroproductiva*. Recuperado de <http://repositorio.minagri.gob.pe/bitstream/handle/MINAGRI/54/papa.cadena%202012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Ministerio del Ambiente (2013). *Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo* Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/D-S-N-002-2013-MINAM.pdf>.
- Miranda, D.; Carranza, C.; Rojas, C.A.; Jerez, C.M.; Fischer, G.; Zurita, J. 2008. Acumulación de metales pesados en el suelo y plantas de cuatro cultivos hortícolas, regados con aguas del río Bogota. *Rev. Col. Cienc. Hort.* 2(2):180-191.
- Mortvedt, J.J. (1996). Heavy metals contaminants in inorganic and organic fertilizers. *Fertilizer Res.* 43:55-61.
- McGrath, S.P.; F.J. Zhao; S.J. Dunham; A.R. Crosland y K. Coleman. (2000). Long-term changes in the extractability and bioavailability of zinc and cadmium after sludge application. *J. Environ. Qual.* 29:875-883
- McLaughlin, M. J., & Singh, B. R. (1999). Cadmium in soils and plants. In *Cadmium in soils and plants* (pp. 1-9). Springer Netherlands.
- Naidu, R.; R.S. Kookana; M.E. Sumner; R.D. Harter y K.G. Tiller. (1997). Cadmium sorption and transport in variable charge soils: a review. *J. Environ. Qual.* 26:602-607.
- Ni, W.Z.; X.X. Long y X.E. Wang. 2002. Studies o the criteria of cadmium pollution in growth media of vegetable crops based on the hygienic limit of cadmium in food. *J. Plant Nutr.* 25 (5), 957-968.

- Nigam, R.; S. Srivastava; S. Prakash y M.M. Srivastava. (2001). Cadmium mobilisation and plant availability - the impact of organic acids commonly exuded from roots. *Plant Soil*. 230:107-113.
- Norvell, W.A., Wu, J., Hopkins, D.G., Welch, R. 2000. Association of cadmium in durum wheat grain with soil chlorine and chelate extractable soil cadmium. *Soil Science Society of America Journal* 64:2162-2168
- Oliver, D.P.; K.G. Hannan; K.G. Tiller; N.S. Wilhem; R. H. Merry y G.D. Cozens. (1994). The effect of zinc fertilization on cadmium concentration in wheat grain. *J. Environ. Qual.* 23:705-711
- Pardo, M. T. (1997). Influence of electrolyte on cadmium interaction with selected andisols and alfisols. *Soil Sci.* 162:733-740.
- Pardo, M. T. y M. E. Guadalix. (1995). Cadmium sorption by two acid soils as affected by clearing and cultivation. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 26:289-302
- Prince, W.S.P.M., Kumar, S.P., Doberschutz, K.D., Subburam, V. 2002. Cadmium toxicity in mulberry plants with special reference to the nutritional quality of leaves. *Journal of Plant Nutrition* 25:689-700.
- Puga, A. P., Abreu, C. A., Melo, L. C. A., & Beesley, L. (2015). Biochar application to a contaminated soil reduces the availability and plant uptake of zinc, lead and cadmium. *Journal of environmental management*, 159, 86-93.
- Reid RJ, Dunbar KR, Mc Laughlin MJ. (2003). Cadmium loading into potato tubers: the roles of the periderm, xylem and phloem. *Plant Cell Environ*; 26:201-206.
- Rubio, B., Duport, L. G., Castaño, M. A. N., Gil, S. G., Alejo, I., y Pazos, O. (1996). Interpretación de tendencias históricas de contaminación por metales pesados en testigos de sedimentos de la Ría de Pontevedra. *Thalassas: An international journal of marine sciences*, 12(1), 137-152. Páginas.
- Sekara A, Poniedzialek M, Ciura J, Jedrszczyk E. (2005). Cadmium and lead accumulation and distribution in the organs of nine crops. Implications for phytoremediation. *Pol J Environ Stud*; 14:509-516.
- Smilde K.W.; B. Van Luit y W. Van Driel. (1992). The extraction by soil and absorption by plants of applied zinc and cadmium. *Plant Soil* 143:233-238

- Wagner, G.J. (1995). Accumulation of cadmium in crop plants and its consequences to human health. *Adv. Agron.* 51:173-211.
- Wang, F., Ouyang, W., Hao, F., Lin, C., & Song, N. (2014). In situ remediation of cadmium-polluted soil reusing four by-products individually and in combination. *Journal of soils and sediments*, 14(3), 451-461.
- Williams, C. H.; David, D. J. The effect of superphosphate on the cadmium content of soils and plants. *Australian Journal Soil Research*, Melbourne, v. 11, p. 43-56, 1973.
- Wu, Q.; W. H. Hendershot; W. D. Marshall y Y. Ge. (2000). Speciation of cadmium, cooper, lead, and zinc in contaminatedsoils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 31
- Xu, D., Chen, Z., Sun, K., Yan, D., Kang, M., & Zhao, Y. (2013). Effect of cadmium on the physiological parameters and the subcellular cadmium localization in the potato (*Solanum tuberosum* L.). *Ecotoxicology and environmental safety*, 97, 147-153.
- Xu, D., Chen, Z., Sun, K., Yan, D., Kang, M., & Zhao, Y. (2013). Effect of cadmium on the physiological parameters and the subcellular cadmium localization in the potato (*Solanum Tuberosum* L.). *Ecotoxicology and environmental safety*, 97:147-153.

ANEXOS

Anexo 01: Mapa de Ubicación



Anexo 02: Informe del Análisis de Cadmio



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA
PROCEDENCIA : AMAZONAS
REFERENCIA : H.R. 52931
BOLETA: 12851
FECHA : 29/01/2016

Lab	Número Muestra	Cd ppm
	Claves	
116	P1-S	4.10
117	P2-S	1.52
118	P1-M1	2.38
119	P1-M2	2.23
120	P1-M3	2.73
121	P2-M1	1.02
122	P2-M2	1.27
123	P2-M3	1.43
124	B01	0.44
125	B02	0.72
126	S-01-B-01	0.97
127	S-01-B-02	6.48
128	S-02-B-01	1.19
129	S-02-B-02	0.79
130	S-03-B-01	0.69
131	S-03-B-02	4.71
132	H01	1.16
133	H02	1.09
134	S-01-H-01	0.29
135	S-01-H-02	1.50
136	S-02-H-01	1.17
137	S-02-H-02	0.79
138	S-03-H-01	0.27
139	S-03-H-02	4.66

Dr. Sady García Bendejú
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Telefax: 349-5622
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA
PROCEDENCIA : AMAZONAS
MUESTRA : HOJAS Y FRUTOS
REFERENCIA : H.R. 52930
FECHA : 03/02/2016

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Cd ppm
233	P - 01 B - 01 (HOJA)	2.00
234	P - 01 B - 02 (HOJA)	1.88
235	P - 01 H - 01 (HOJA)	3.38
236	P - 01 H - 02 (HOJA)	5.38
237	P - 02 B - 01 (HOJA)	3.13
238	P - 02 B - 02 (HOJA)	1.50
239	P - 02 H - 01 (HOJA)	4.00
240	P - 02 H - 02 (HOJA)	11.13
241	P - 03 B - 01 (HOJA)	3.00
242	P - 03 B - 02 (HOJA)	2.88
243	P - 03 H - 01 (HOJA)	3.38
244	P - 03 H - 02 (HOJA)	4.75
245	P1 - M1 (HOJA)	4.63
246	P1 - M2 (HOJA)	3.63
247	P1 - M3 (HOJA)	4.50
248	P2 - M1 (HOJA)	2.88
249	P2 - M2 (HOJA)	2.13
250	P2 - M3 (HOJA)	2.50



Dr. Sady García Bendezú
Jefe de Laboratorio



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA
PROCEDENCIA : AMAZONAS
MUESTRA : HOJAS Y FRUTOS
REFERENCIA : H.R. 52930
FECHA : 03/02/2016

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Cd ppm
251	P1 - M1 (PAPA)	0.00
252	P1 - M2 (PAPA)	0.00
253	P1 - M3 (PAPA)	0.00
254	P2 - M1 (PAPA)	0.00
255	P2 - M2 (PAPA)	0.25
256	P2 - M3 (PAPA)	0.44
257	T - 01 B - 01 (PAPA)	0.13
258	T - 01 B - 02 (PAPA)	0.13
259	T - 01 H - 01 (PAPA)	0.13
260	T - 01 H - 02 (PAPA)	0.13
261	T - 02 B - 01 (PAPA)	0.25
262	T - 02 B - 02 (PAPA)	0.25
263	T - 02 H - 01 (PAPA)	0.13
264	T - 02 H - 02 (PAPA)	0.25
265	T - 03 B - 01 (PAPA)	0.25
266	T - 03 B - 02 (PAPA)	0.13
267	T - 03 H - 01 (PAPA)	0.25
268	T - 03 H - 02 (PAPA)	0.25



Dr. Sady García Bendezi
Jefe de Laboratorio

Anexo 03: Análisis complementario



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE CIENCIAS
LABICER (Laboratorio N° 12)
ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



INFORME TÉCNICO N° 1477 - 17 - LAB. 12

1. DATOS DEL SOLICITANTE
 - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : XIOMARA DE JESÚS VALQUI REINA
 - 1.2 DNI : 46796705
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 13 / 10 / 2017
 - 2.1 FECHA DE ENSAYO : 18 / 10 / 2017
 - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 23 / 10 / 2017
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANÁLISIS DE CADMIO EN HOJAS Y TUBÉRCULOS
4. DATOS REFERENCIALES DE LAS MUESTRAS SEGÚN SOLICITANTE
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : MUESTRA DE HOJAS Y TUBÉRCULOS
 - 4.2 PROCEDENCIA : CUECHÁN - AMAZONAS

MUESTRA	DESCRIPCIÓN
M1	H - 01 (HOJA)
M2	H - 02 (HOJA)
M3	PAPA - 01
M4	PAPA - 02

5. LUGAR DE RECEPCIÓN : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 21 °C; Humedad relativa: 62 %
7. EQUIPO UTILIZADO : Espectrofotómetro de Absorción Atómica Shimadzu AA-7000
8. RESULTADOS

MUESTRA	RESULTADOS DE CADMIO ppm	MÉTODO UTILIZADO
M1	2.292	Espectrofotometría de absorción atómica
M2	2.116	
M3	0.785	
M4	0.694	

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO
Los resultados de este Informe técnico son válidos solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Bach. Natalia Quispe Gutiérrez
Analista
LABICER - UNI



MSc Otilia Acha de la Cruz
Responsable de Análisis
Jefa de laboratorio
CQP 202

El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.

Anexo 04: Tablas de Límites Máximos Permisibles según FAO y MINAM

Nombre del producto básico/producto	Nivel Máximo (NM) mg/kg	Parte del producto básico/producto a que se aplica el nivel máximo (NM)	Notas/observaciones
Hortalizas de hoja	0.2	Todo el producto que se comercializa normalmente, después de eliminar las hojas claramente descompuestas o marchitas	El NM/ también es aplicable a las hortalizas de hoja brasicáceas
Hortalizas leguminosas	0.1	Producto entero que se consume. Las formas frescas se pueden consumir como vainas enteras o como el producto sin vaina.	
Legumbres	0.1	Todo el producto.	El NM no es aplicable a la soja (seca).
Raíces y tubérculos	0.1	Todo el producto después de eliminar las puntas. Eliminar el suelo adherente (p.ej., enjuagándolo con agua corriente o cepillando suavemente el producto seco). Patatas (papas): patatas peladas.	El NM no es aplicable al apionabo.
Hortalizas de tallos y brotes	0.1	Todo el producto que se comercializa después de eliminar las partes claramente descompuestas o marchitas. Ruibarbo; brotes de hoja sólo. Alcachofa: la cabeza solamente. Apio y espárragos: eliminar el suelo adherente.	
Cereales en grano	0.1	Todo el producto	El NM no es aplicable al trigo sarraceno, cañihua, quinoa, trigo y arroz.
Arroz pulido	0.4	Todo el producto	
Trigo	0.2	Todo el producto	El NM se aplica al trigo blando, trigo duro, espelta y escanda.
Moluscos	2	Todo el producto después de eliminar el caparazón	El NM es aplicable a almejas, berberechos y mejillones pero no a las ostras y vieiras.
Cefalópodos	2	Todo el producto después de eliminar el caparazón	El NM es aplicable a sepia, pulpo y calamares sin vísceras.

N°	PARÁMETROS	USOS DEL SUELO			MÉTODO DE ENSAYO
		Suelo agrícola	Suelo residencial/ parques	Suelo comercial/ industrial/ extractivos	
I	Orgánicos				
1	Benceno (mg/kg MS)	0,03	0,03	0,03	EPA 8260-B EPA 8021-B
2	Tolueno (mg/kg MS)	0,37	0,37	0,37	EPA 8260-B EPA 8021-B
3	Etilbenceno (mg/kg MS)	0,082	0,082	0,082	EPA 8260-B EPA 8021-B
4	Xileno (mg/kg MS)	11	11	11	EPA 8260-B EPA 8021-B
5	Naftaleno (mg/kg MS)	0,1	0,6	22	EPA 8260-B
6	Fracción de hidrocarburos F1 (C5-C10)(mg/kg MS)	200	200	500	EPA 8015-B
7	Fracción de hidrocarburos F2 (C10-C28) (mg/kg MS)	1200	1200	5000	EPA 8015-M
8	Fracción de hidrocarburos F3 (C28-C40) (mg/kg MS)	3000	3000	6000	EPA 8015-D
9	Benzo(a) pireno (mg/kg MS)	0,1	0,7	0,7	EPA 8270-D
10	Bifenilos policlorados PCB (mg/kg MS)	0,5	1,3	33	EPA 8270-D
11	Aldrín (mg/kg MS)	2	4	10	EPA 8270-D
12	Endrín (mg/kg MS)	0,01	0,01	0,01	EPA 8270-D
13	DDT (mg/kg MS)	0,7	0,7	12	EPA 8270-D
14	Heptacloro (mg/kg MS)	0,01	0,01	0,01	EPA 8270-D
II	Inorgánicos				
15	Cianuro libre (mg/kg MS)	0,9	0,9	8	EPA 9013- A/APHA- AWWA- WEF4500 CN F
16	Arsénico total (mg/kg MS)	50	60	140	EPA 3050-B EPA 3051
17	Bario total (mg/kg MS)	750	500	2000	EPA 3050-B EPA 3051
18	Cadmio total (mg/kg MS)	1,4	10	22	EPA 3050-B EPA 3051
19	Cromo VI (mg/kg MS)	0,4	0,4	1,4	DIN 19734
20	Mercurio total (mg/kg MS)	6,6	6,6	24	EPA 7471-B
21	Plomo total (mg/kg MS)	70	140	1200	EPA 3050-B EPA 3051

Anexo 05: Panel Fotográfico

- **Fase de Campo:** Identificación de parcelas y toma de muestras de los cultivos de papa



Foto N° 01: Identificación de parcelas con cultivo de papa (13/06/2016)



Foto N° 02: Cultivo de papa en etapa de maduración (14/06/2016)



Foto N° 03 y 04: Georreferenciación de los puntos de muestreo (16/06/2016)



Foto N° 05 y 06: Recolección de muestras de suelo (16/06/2016)



Foto N° 07: Etiquetado y rotulado de la muestra de suelo (16/06/2016).



Foto N° 08: Recolección de muestras de hojas de la planta de papa de donde se obtuvo la muestra de suelo. (17/06/2016)

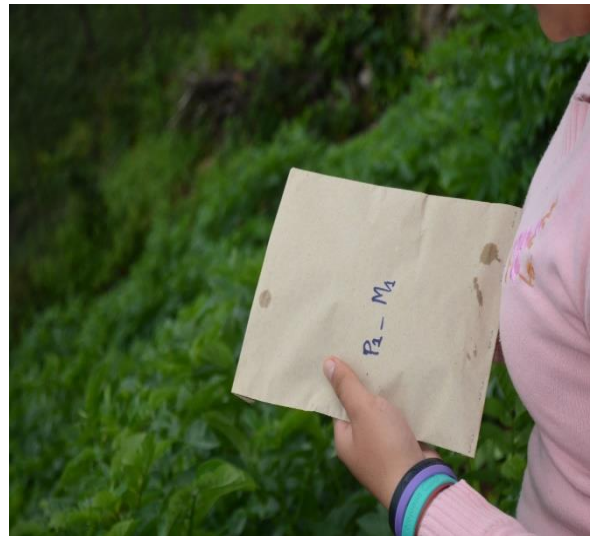


Foto N° 09 y 10: Etiquetado y rotulado de la muestra de hoja de cultivo de papa (16/06/2016)



Foto N° 11 y 12: Recolección de muestra de tubérculos en etapa de maduración (17/06/2016)



Foto N° 13 y 14: Recolección de toma de muestra de suelo sin ningún tipo de cultivo (17/06/2016)

➤ **Fase de Laboratorio**



Foto N° 15 y 16: Colocación de muestras de suelo en cajas de cartón (20/06/2016)



Foto N° 17: Muestra de tuberculo de papa lavado con agua destilada para remover todo tipo de residuo que contamine la muestra (20/06/2016).

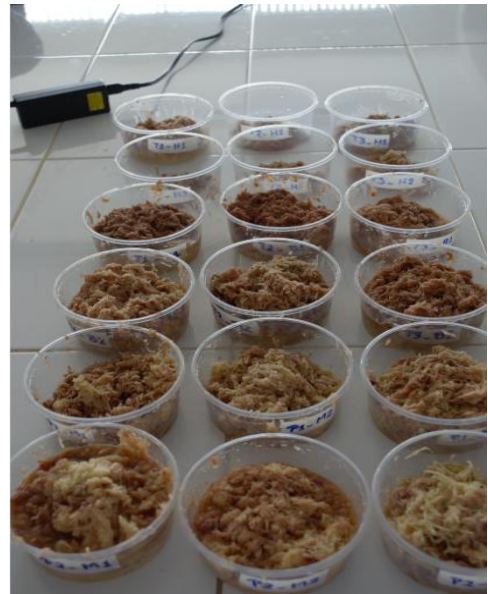


Foto N° 18: Muestras de tuberculos de papa rayadas colocadas en recipientes de plastico (20/06/2016).



Foto N° 19: Colocación de muestras de tuberculos en la estufa para su secado a una temperatura de 60° (20/06/2016).



Foto N° 20: Lavado de muestra de hojas de la planta de papa con agua destilada (20/06/2016)



Foto N° 21 y 22: Muestras de hojas ya lavadas son colocadas en bolsas de papel para luego ser puestas en la estufa (20/06/2016).



Foto N° 23: Muestras de suelo, hoja y tubérculo colocadas en la estufa para su secado a temperatura de 60° (20/06/2016).



Foto N° 24 y 25: Muestra de suelo y tubérculo triturado en un mortero con la ayuda de un pilón (28/06/2016).



Foto N° 26: Muestra del tubérculo ya lista para ser enviada para los análisis de determinación de cadmio (29/06/2016)



Foto N° 27: Muestra de hoja lista para ser triturada (29/06/2016)



Foto N° 28: Pesado de muestras en balanza analitica (29/06/2016)

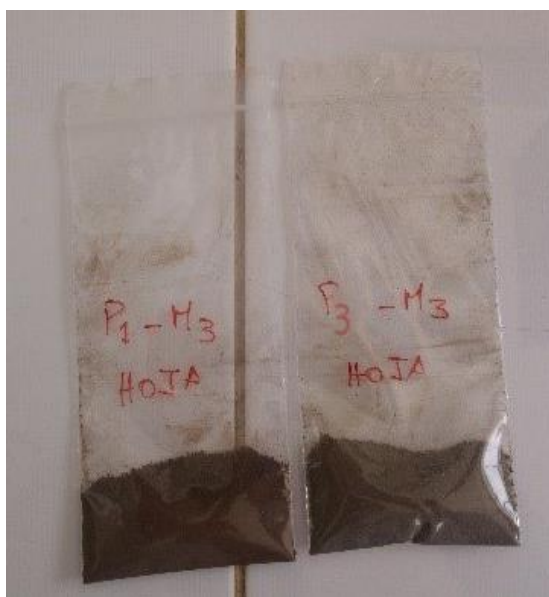


Foto N° 29: Muestra de hoja lista para ser enviada para los analisis de determinacion de cadmio (30/06/2016)



Fotos N° 30 y 31: Preparación de muestras para la determinación de pH y conductividad eléctrica



Fotos N° 32 y 33: Muestras de suelo listas y colocadas en el agitador



Foto N° 34: Medición de conductividad eléctrica

Anexo 05: Encuesta