



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE CIENCIAS MÉDICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE NUTRICIÓN

DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO EN
GRANO DE *Oryza sativa* PILADO PROCEDENTE DE LOS DISTRITOS
DE PACASMAYO, ENERO - JUNIO 2017.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
LICENCIADA EN NUTRICIÓN

AUTOR:

RAMIREZ MESTANZA, ANA DALILA

ASESOR:

Dra. Nélide Milly E. Otiniano García

Ms. Mayra Lucía Anticono Barreto

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

ALIMENTACIÓN Y NUTRICIÓN

TRUJILLO – PERÚ

2017

Mg. José De La Cruz Lujan

PRESIDENTE

Mg. Karyn Alicia Olascuaga Castillo

SECRETARIA

Nélida Milly E. Otiniano García

VOCAL

DEDICATORIA

La presente Tesis está dedicada con infinito amor al director de mi vida, mi Padre Celestial; quien me acompaña y guía en cada momento.

A mis amados padres Luis y Luz por su amor, por estar a mi lado en cada etapa de mi vida y brindarme la oportunidad y los recursos para realizarme como profesional.

A mis queridos hermanos Merly, Robert y Alberto por su amor y apoyo incondicional en estos 5 años de carrera Profesional.

AGRADECIMIENTO

A mi Dios

Por darme la vida, por ser mi protector, por darme la fortaleza de seguir a pesar de las derrotas y por ayudarme a lograr mis metas.

A mis Padres

Luis Ramírez y Luz Mestanza, por su inmenso amor, por el gran ejemplo de perseverancia y constancia que los caracteriza y por su apoyo tanto emocional como económico en el transcurso de mi carrera.

A mis Asesoras

Dra. Nélide Otiniano y Ms. Mayra Anticona por haberme dado la oportunidad de acudir a sus conocimientos y experiencia así como por brindarme su tiempo y dedicación.

Con amor, mil gracias a todos.

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo Ramírez Mestanza Ana Dalila con DNI N° 76759146, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ciencias Médicas, escuela Profesional de Nutrición, habiendo realizado la tesis denominada: Determinación de la Concentración de Arsénico en grano de *Oryza sativa* pilado procedente de los distritos de Pacasmayo, Enero - Junio 2017, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veras y auténtica, con respeto de autoría.

Así mismo declaro bajo juramento que los datos plasmados y la información con la cual se avala son verídicos y auténticos.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier, falsedad, ocultamiento u omisión tanto de documentos como de información aportada, para lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de esta casa de estudios.

Trujillo, Junio del 2017

Ana Dalila Ramírez Mestanza

PRESENTACIÓN

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la Tesis titulada “Determinación de la Concentración de Arsénico en grano de *Oryza sativa* pilado procedente de los distritos de Pacasmayo, Enero - Junio 2017”, la misma que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título Profesional de Licenciada en Nutrición.

La autora

ÍNDICE

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD	V
PRESENTACIÓN	VI
RESUMEN	VIII
ABSTRACT	IX
I. INTRODUCCIÓN	10
1.1. Realidad problemática	10
1.2. Trabajos previos	11
1.3. Teorías relacionadas con el tema	15
1.4. Formulación del problema	21
1.5. Justificación del estudio	22
1.6. Hipótesis	22
1.7. Objetivo	22
Objetivo general	22
Objetivos específicos	23
II. MÉTODO	23
2.1. Diseño de la investigación	23
2.2. Variables, operacionalización	23
2.3. Población muestra	24
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	25
2.5. Métodos de análisis de datos	27
2.6. Aspectos éticos	27
III. RESULTADOS	28
IV. DISCUSIÓN	36
V. CONCLUSIÓN	42
VI. RECOMENDACIONES	43
VII. REFERENCIAS	44
ANEXOS	49

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar la concentración de arsénico en el grano de *Oryza sativa* pilado, agua y suelo de cultivo procedente de los distritos de la provincia de Pacasmayo: San José, Guadalupe y San Pedro de LLoc, enero - junio, 2017. Se tomaron 9 muestras de grano de *Oryza sativa* pilado, 3 muestras de agua de riego y 3 muestras de suelo de cultivo, empleando para el análisis el método de espectrometría de absorción atómica con generación de hidruros (HG-AAS); la concentración de arsénico en las muestras de grano *Oryza sativa* pilado, agua y suelo de cultivo presentaron un promedio de 0,16 mg/kg, 0,008 mg/l y 5,29 mg/kg respectivamente. Al establecer la relación entre la concentración de arsénico en el grano de *Oryza sativa* con la concentración de arsénico en el agua y suelo de cultivo se determinó que el índice de coeficiente de correlación de Pearson fue -0,612 y -0,133 correspondientemente. Por ello se concluye que en las muestras de grano de *Oryza sativa* pilado, agua y suelo de cultivo la concentración de arsénico no excede los estándares nacionales e internacionales establecidos y no existe correlación entre la concentración de arsénico en las muestras analizadas.

Palabras Clave: *Oryza sativa*, arsénico, agua, suelo

ABSTRACT

The present research had as objective to determine the concentration of arsenic in the grain of *Oryza sativa* polished, water and crop soil from the districts of Pacasmayo province: San José, Guadalupe and San Pedro de LLoc, January - June, 2017. 9 grain samples of *Oryza sativa* polished, 3 samples of irrigation water and 3 soil samples were taken, using the method of atomic absorption spectrometry with hydride generation (HG-AAS); the concentration of arsenic in the *Oryza sativa* polished grains, water and soil samples presented an average of 0,16 mg/kg, 0,008 mg/l and 5,29 mg/kg, respectively. When establishing the relationship between the arsenic concentration of the *Oryza sativa* grain and the arsenic concentration in the water and crop soil, it was determined that the Pearson correlation coefficient index was -0,612 and -0,133 correspondingly. Therefore, it is concluded that in the grain samples of *Oryza sativa* polished, water and crop soil the concentration of arsenic does not exceed established national and international standards and there is no correlation between the arsenic concentration in the samples analyzed.

Key words: *Oryza sativa*, arsenic, water, soil.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En Perú, el arroz es un alimento que de acuerdo a la condición socioeconómica es consumido en todos los estratos sociales, en mayor cantidad entre los niveles medio y alto. Anualmente un peruano o peruana consume en promedio total per cápita 47,4 kg de arroz; siendo la principal fuente energética de nuestra cultura alimentaria¹.

Sin embargo, el consumidor desconoce que el arroz (*Oryza sativa*) es uno de los alimentos que presenta mayor exposición y niveles de arsénico.

Según datos del Servicio de prospecciones geológicas estadounidense alrededor de 11 millones de toneladas de arsénico (As) se encuentran en minas de cobre y plomo; principalmente en Filipinas y Perú, así mismo, los depósitos de arsénico están relacionados a la minería de oro-cobre en los países de Canadá y Chile².

En el Perú, la contaminación crónica por arsénico (As) está vinculada al desarrollo de la actividad minera y a la metalurgia, así también por aguas superficiales y subterráneas de cuencas procedentes de la cordillera andina.

La provincia de Ilo en el Perú es una zona donde se han identificado niveles elevados de arsénico³. En los ríos Locumba y Rímac se han encontrado niveles de arsénico entre 0,2 – 0,4 mg/L y en Puno niveles de 0,18 mg/L³.

Acuíferos subterráneos de más de 20 países a nivel mundial se encuentran contaminados por arsénico, dicha agua es usada para riego de cultivos y para el consumo humano. Es preocupante la contaminación natural del arsénico que presentan países como Argentina, Bangladesh, Chile, China y Estados Unidos. Las aguas subterráneas en algunos países presentan arsénico natural en concentraciones superiores al estándar de normalidad para agua potable, sin embargo la preocupación por la presencia de sustancias

como el arsénico en agua y alimentos es reciente y cada vez más importante para la inocuidad alimentaria³.

A nivel mundial en promedio 100 millones de personas mediante la ingesta oral de alimentos contaminados por arsénico se exponen a cantidades consideradas como peligrosas para la salud humana. En Bangladesh, uno de los países que presenta mayores tasas de contaminación por arsénico; la presencia de arsénico en el agua bebida ha generado 1,5 millones de casos de lesiones dermatológicas⁴.

1.2. Trabajos previos

Chuchón y Chumbipuma⁵, realizaron una investigación con el objetivo de evaluar la concentración de plomo, cadmio y arsénico en arroz pilado de 30 marcas diferentes expandidas en el Mercado Municipal 3 de Febrero del distrito de La Victoria, Provincia de Lima, durante el período de junio a noviembre de 2015, por el Método de Espectrofotometría de Absorción Atómica. La concentración de plomo encontrada en las muestras de Arroz, presentan un promedio de 0,1943 mg/kg, con un valor mínimo de 0,08 mg/kg y un valor máximo de 0,45 mg/kg; en cadmio un promedio de 0,3626 mg/kg con un valor mínimo de 0,11 mg/kg y valor máximo de 0,77 mg/kg y en arsénico un promedio de 0,1996 mg/kg, con un valor mínimo de 0,06 mg/kg y un valor máximo de 0,35 mg/kg. Los resultados de la investigación, indican que en las muestras de Arroz no superan los niveles máximos permitidos de plomo, cadmio y arsénico indicados en el *Codex Alimentarius* y Registro Técnico MERCOSUR.

López B y López K⁶, ejecutaron una investigación con el objetivo de cuantificar plomo y arsénico en el arroz del Programa de Alimentación y Salud Escolar de El Salvador por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica. Parte de la investigación comprendió realizar un muestreo dirigido y puntual al arroz que recibe la Escuela

Parvularia Santa Isabel, en la Ciudad de Santa Ana dentro del Programa de Alimentación y Salud Escolar; recolectando nueve muestras de arroz, que fueron analizadas por duplicado en el laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, en el período de Junio a Noviembre del año 2014. El resultado promedio del contenido del plomo y arsénico en las muestras de arroz fue de 0,104 mg/kg y 0,103 mg/kg respectivamente. Al comparar los resultados obtenidos con el nivel máximo permitido por la norma CODEX STAN 193-1995 para plomo (0,2 mg/kg) y la propuesta de la Organización Mundial para la Salud, respecto al nivel máximo de arsénico permitido en el arroz de 0,2 mg/kg, se concluye que ninguna de las muestras sobrepasó la concentración máxima establecida para ambos metales.

Lamadrit⁷, llevo a cabo una investigación con el objetivo de determinar la concentración total de arsénico en arroz procedente de Irán, se llevó a cabo el análisis de 15 muestras de arroz procedentes de diferentes zonas de La República Islámica de Irán empleando la técnica de espectrometría de absorción atómica con generación de hidruros (HG-AAS); el valor medio obtenido fue de 0,122 mg/kg por tanto concluyó que la ingesta de arsénico total a partir de las muestras estudiadas, no superó el límite establecido del estándar de calidad de China (0,15 mg/kg).

Meharg⁸, efectuó una investigación con el objetivo de analizar el contenido de arsénico total en arroz de diferentes países. Se analizaron 901 muestras de grano pilado (blanco) procedentes de diez países de 4 continentes. Las muestras son una representación básica, todos estaban a la venta de mercado en las grandes aglomeraciones. La mediana de contenido total de arsénico en arroz varia 7 veces; India 0,07mg/kg y Egipto 0,04 mg/ kg presentan el menor nivel de arsénico, caso contrario es de Francia 0,28 mg/kg y Estados Unidos 0,25 mg/kg que poseen los niveles más elevados.

Feng⁹, desarrolló una investigación con el objetivo determinar los niveles de arsénico total y especies de arsénico en arroz pulido de

varias regiones de producción de China, se analizó para el total de arsénico y especies de arsénico utilizando HPLC-ICP-MS. La concentración de arsénico total oscila desde 0,653 hasta 2,742 mg/kg, con un valor promedio de 1,144 mg/kg. Cuatro especies de arsénico, incluyendo arsenito (As (III), arsenato (V), ácido dimetilarsínico (DMA) y ácido monometiarsénico (MMA), se detectaron en la mayoría de muestras de arroz. La presencia de Asi (As (III) + As (V) fue predominante, representando el 72%.

En un estudio realizado por el Instituto de Minería y Medio Ambiente de la Universidad Nacional de Ingeniería en la cuenca del Río Jequetepeque determinó que los niveles de arsénico no superan los LMP de la Ley General de Aguas siendo este de 0,2 mg/l¹⁰.

Montes¹¹, ejecutó una investigación con el objetivo de determinar las fuentes de contaminación, niveles de toxicidad, la contaminación fecal de las aguas superficiales en la microcuenca quebrada Honda y evaluar el sistema de monitoreo comunitario (SMC); desarrollado por la Comunidad Campesina de Vicos. El análisis se realizó en aguas de la microcuenca quebrada Honda ubicada dentro del Parque Nacional Huascarán en el departamento de Ancash, mediante parámetros físicos, químicos, biológicos y bioensayos con *Allium cepa* y *Daphnia sp.* Según los obtenidos el sitio de mayor contaminación por arsénico corresponde a la quebrada Kankawa, con un promedio anual de 0,12 mg/l de arsénico.

En un estudio de la afección de los metales traza en la cuenca del Jequetepeque, a partir de datos de agua y sedimentos recogidos previamente, cuyo objetivo fue determinar la afección por contaminación de la calidad de las aguas y sedimentos de la cuenta y definir los orígenes de la contaminación, la conclusión con respecto a los niveles de arsénico, es que este se encuentra en altas concentraciones arsénico en sedimentos de 0,9 mg/kg y en agua 0,7 mg/l a lo largo de toda la cuenca del Jequetepeque, esto causado principalmente por la actividad minera¹².

En un estudio efectuado en la cuenca del Río Santa para determinar la calidad del agua se encontró que en dos tramos del río: el primero entre la estación 15 de Recreta y la Estación 1º de La Florida, la concentración de arsénico es ampliamente mayor con respecto al valor permisible; encontrándose valores de hasta 0,44 mg/l dado que en esta área se desarrolla la actividad minera de la cuenca. El segundo tramo se encuentra comprendido entre la estación N° 10 de La Florida y la desembocadura del río Santa en el mar, el resultado obtenido es inferior del valor permisible que es de 0,1 mg/l de arsénico¹³.

El Instituto Geológico Minero Metalúrgico realizó un estudio geológico con el objetivo de contribuir al desarrollo sostenible de la cuenca del río Jequetepeque – Loco de Chaman y al mejoramiento de las condiciones de vida de sus habitantes, los resultados obtenidos para el arsénico se encuentra dentro de los rangos permisibles, excepto la muestra correspondiente 15fw-114 (subcuencas de los Rejo, Llapa y San Miguel) la cual representa una diferencia de 0,004 mg/l¹⁴.

Graza¹⁵, desarrolló una investigación con el objetivo de cuantificar el arsénico, cadmio, plomo en las aguas de un tramo del río Santa, en tramo adyacente al Pasivo Ambiental Minero de Recuay. Las muestras se tomaron de nueve puntos consecutivos que están conformados de tres blanco, realizando el análisis de la concentración de los metales en mención en cada punto por el método de Espectrometría de Absorción Atómica. La concentración de arsénico fue 0,0404 mg/l, plomo 0,6402 mg/l y cadmio 0,0396 mg/l; siendo todos los resultados superiores a los Límites Máximos Permisibles de 0,0101 mg/L por los estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua.

Mercado et al¹⁶ llevaron a cabo una investigación con el objetivo de evaluar los niveles de contaminación por plomo y arsénico en muestras de suelos y productos agrícolas procedentes de la región cercana al complejo metalúrgico Vinto. Realizaron mediante el método de espectroscopia de absorción atómica con generador de

hidruros, obteniendo como resultado 190 mg de plomo y 1675 mg de arsénico por Kg de muestra de alfalfa, 61,78 mg de plomo y 1900 mg de arsénico por Kg de muestra de Zanahoria y 435 mg de plomo y 1761 mg de arsénico por Kg de muestra de Cebolla. En las plantas muestran valores anormalmente elevados. Para Alfalfa 10,33 mg de plomo y 399 mg de arsénico por Kg de muestra, en la Cebolla 2,88 mg de plomo y 98,76 mg de arsénico por Kg de muestra, y la zanahoria 6,28 mg de plomo y 92,44 mg de arsénico por Kg de muestra. La conclusión fue que a más cerca al complejo Vinto la concentración de los agentes contaminantes es mayor así también que el arsénico es el contaminante que reporta concentraciones superiores al límite máximo permitido.

1.3. Teorías relacionadas con el tema

El arroz se encuentra en la división: *Angiospermae*, Clase: *Monocotyledoneae*, Orden: *Glumiflorae*, Tribu: *Oryzaceae*, Familia: *Poaceae* (gramineae), cuyas especies que se cultivan son: *Oryza sativa* L. y *Oryza glaberrima* Steud, las dos especies presentan reproducción autogama, dos pares de cromosomas homólogos en su núcleo ($2n=24$ cromosomas)¹⁷.

El Codex Alimentarius define al arroz como los granos enteros o partidos de la especie *Oryza sativa* L¹⁸.

El arroz (*Oryza sativa*) es una gramínea domesticada y es a la vez un cultivo milenario, existe evidencia que se cultiva desde hace 8,000 años en algunos países asiáticos¹⁹.

El grano de arroz conocido como semilla, pos cosecha está constituido por cariópse y la cáscara que está formada de glumas. En la industria, el arroz con cáscara es aquel que presenta carióspe y glumas. Así mismo, el cariópse está constituido por embrión, endosperma, capas de aleurona (alto contenido de proteína), tegmen (cubierta seminal), y pericarpio (cubierta externa de la semilla)²⁰.

Se pueden identificar al arroz blanco o pilado, es la semilla sin pericarpio; arroz quebrado es aquel que presenta un $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ del grano entero, dependiendo del destino de comercialización y arroz glaseado o perlado, es aquel abrigantado por fricción con glucosa, aceite y/o talco²⁰.

La planta de arroz (*Oryza sativa*) presenta raíces fibrosas, delgadas y fasciculadas. Tienen dos tipos de raíces: Las seminales formadas a partir de la radícula y de existencia temporal y las raíces adventicias secundarias tienen su origen los nudos inferiores del tallo joven con ramificación libre. Las raíces seminales son sustituidas por las raíces adventicias. El tallo tiene una longitud de 60 – 120 cm aproximadamente, su forma es cilíndrica con nudos y entrenudos. Las hojas tienen una ubicación alterna, forma lineal, con ápice agudo. La vaina cubre parte del entrenudo, la lígula membranosa se encuentra en la unión del limbo y la vaina y finalmente sus flores son hermafroditas de color verde blanquecino dispuestas en espigas²¹.

Con respecto a su valor nutricional en 100g de arroz pilado crudo, encontramos un aporte calórico (358 kcal), es rico en almidón que se compone de amilosa y amilopectina. Tiene un aporte de proteínas (7,8 g), y contiene cantidades notables de tiamina (0,11 mg), riboflavina (0,04 mg), niacina (0,19mg) y fósforo (134 mg). El refinamiento y pulido del grano de arroz genera una pérdida aprox. del 50% de su contenido inicial de minerales y el 85% de vitaminas del complejo B²². El arroz es la base indispensable en la comida peruana donde algunas de las preparaciones más comunes son: arroz blanco, arroz con pollo, arroz con mariscos, en sopas, en postres, entre otros.

El suelo es un conjunto de partículas minerales que se encuentran formando una red de poros y canales por los cuales permite el la circulación del aire y el agua. Es en el suelo donde se realiza la producción de los alimentos para la población, por ello un suelo ideal debe presentar los siguientes componentes: materia mineral (45%), aire (25%) y agua (25%)²³.

El suelo tiene tres propiedades, las propiedades físicas encargadas proporcionarle la textura y estructura, las propiedades químicas quienes van a permitir la nutrición de las plantas y finalmente son las propiedades biológicas que hace referencia al número de actividades desarrolladas por los organismos vivos del suelo para mejorar su potencial productivo²⁴.

Dentro de las propiedades físicas, la textura se refiere a la proporción de partículas (arena, limo y arcilla) que se encuentran en el suelo y la estructura es la forma en que se encuentran estas partículas. Son quienes confieren el aspecto que conocemos de los suelos. El suelo arenoso contiene más de 80% de arena el cual no tiene la capacidad de retener agua, por el contrario un suelo arcilloso contiene más de 50% de arcilla donde no permite el drenaje del agua. El suelo ideal es aquel que contiene 40% de arena, 40% de limo y 20% de arcilla ya que estas condiciones van a permitir la nutrición de la planta²⁴.

Las propiedades químicas del suelo son la capacidad de intercambio el potencial hidrógeno (pH) y la capacidad de intercambio catiónico. El pH es el criterio más usado para determinar si un suelo es ácido o es alcalino. En suelos usados para cultivo se observan niveles de pH entre 3 y 10. El valor óptimo de pH para el crecimiento de las plantas es entre 6,0 y 7,5. La capacidad de intercambio catiónico se refiere a la capacidad que tiene un suelo de mantener una carga eléctrica y cuanto mayor sea esta, se dará mayor retención de partículas químicas²⁴.

Las propiedades biológicas hacen referencia a las actividades que desarrollan los organismos vivos que influyen en el potencial productivo del suelo²⁴.

Para el cultivo de arroz el suelo debe estar constituido por un alto porcentaje de arcilla ya que son estos los que permiten retener y conservar la humedad por más tiempo²⁵.

Con respecto a la topografía del suelo de cultivo es necesario contar con suelos planos para la producción de arroz; para facilitar el cultivo y el manejo del agua²⁵.

El agua está constituido por dos átomos de hidrogeno y uno de oxígeno, unidos por 66 enlaces covalentes que le confieren estabilidad¹⁹.

La planta de arroz utiliza casi la totalidad del agua que absorbe por medio de sus raíces para el crecimiento y desarrollo de la misma. Del total de agua suministrada a la planta, solo una mínima parte pasa a formar parte de sus tejidos, el resto de agua la planta lo transpira a la atmosfera a través de un mecanismo por el cual, la planta mantiene un balance micro-climático, logrando de esta forma el desarrollo de los procesos fisiológicos, que determina el crecimiento y desarrollo de cualquier cultivo¹⁹.

Por otro lado los compuestos a base de arsénico tienen un uso medicinal y como veneno desde la antigüedad. Hipócrates en el año 400 a.c describió su uso medicinal²⁶.

El arsénico es un elemento que se encuentra ubicado en el grupo V-A de la tabla periódica, su número atómico es 33 y su peso atómico es 74,92. Lo podemos encontrar principalmente en estado sólido formando sulfuros. Es considerado un metaloide dado que, presenta propiedades intermedias entre metales y no metales; sin embargo por su energía de ionización y electronegatividad predominan las características de un no metal formando con mayor facilidad aniones que cationes. Debido a su ubicación en la tabla periódica su comportamiento químico es similar al del fósforo, esto significa múltiples implicaciones en el nivel edáfico y sobre la toxicidad del arsénico para las plantas²⁷.

El arsénico (As) es un metaloide de olor aliáceo, se encuentra formando parte de la corteza terrestre como elemento natural, en una concentración aproximada de 2mg/kg dependiendo de la estructura geológica del suelo. Los grupos de compuestos de arsénico son tres: arsénico orgánico (As-o), arsénico inorgánico (As-i), gas arsina y arsinas sustitutas²⁸.

El arsénico en los alimentos se encuentra en forma orgánica e inorgánica. Los compuestos arsenicales orgánicos identificados son:

arsenobetaina, arsenocolina, sales del ácido trimetilarsónico, arseno azúcares y lípidos que contienen arsénico²⁹.

El arsénico inorgánico se encuentra en forma natural en aguas geotermales, rocas sedimentarias, rocas volcánicas y en aguas geotermales. En la naturaleza se halla libre y también combinado en diversos minerales³⁰.

El arsénico orgánico se encuentra presente en numerosos compuestos orgánicos debido a su alta estabilidad del enlace arsénico-carbono (As-C) mediante las condiciones ambientales de pH y potencial de óxido-reducción. Las formas orgánicas del arsénico son resultado del metabolismo de los seres vivos y se les califica como no tóxicas o poco tóxicas; sin embargo resaltan dos de sus formas, el ácido monometil-arsenioso y el ácido dimetilarsínico (conservador de maderas y herbicida), son altamente tóxicos para el ser humano^{30,31}.

Las formas inorgánicas del arsénico son consideradas como las más tóxicas, en el medio ambiente las más frecuentes son el arseniato (As (V) (H_3AsO_4)) y el Arsenito (As (III) (H_3AsO_3)). La arsina (AsH_3) es un gas altamente tóxico^{29, 31}.

La OMS establece el límite máximo del arsénico en el agua (H_2O) potable de 0,01 mg/L²⁸.

La comisión del Codex Alimentarius establece los niveles máximos (NM) de arsénico en grano de arroz; siendo 0,4 mg/kg de As_i en arroz descascarillado y de 0,2 mg/kg As en arroz pulido. Así también de 0,4 mg/kg de $As-t$ en arroz sin elaborar³².

El arsénico entra al cuerpo humano en cantidades pequeñas por medio de alimentos, agua y aire. El arsénico es absorbido en el intestino delgado, luego de ello es reducido de Arseniato a Arsenito, este mediante las acuaporinas ingresa a los hepatocitos, allí es transformado en subproductos que son metilados. La excreción del arsénico dura de 4-5 días y en casos de toxicidad se acumula en el riñón, pulmones, bazo, corazón, TGI, hígado, sistema nervioso. Las formas orgánicas intermedias producto del metabolismo del metaloide son más nocivas que los compuestos inorgánicos³³.

La Arsenicosis es resultado de exposición a altas concentraciones o de forma prolongada, los síntomas frecuentes son alteraciones cutáneas (hiperpigmentación, hiperqueratosis), y en casos más graves el desarrollo de diferentes tipos de cáncer (pulmón, vejiga, riñón). Las patologías de los vasos sanguíneos de extremidades inferiores, diabetes, alteraciones del sistema reproductor, HTA, cardiopatías, etc; también están relacionados con la Arsenicosis²⁸.

El Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (IARC) en el año 1973 concluyó que la exposición a arsénico inorgánico por la ingesta de medicamentos, en el agua potable con elevados índices de arsénico o en el ámbito laboral es una de las causas del desarrollo de cáncer de piel. Así también afirmó que operarios metalúrgicos que inhalan alto porcentaje de trióxido de arsénico tienen mayor riesgo de presentar cáncer al pulmón³⁴.

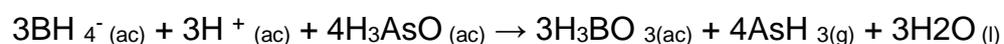
Los daños en la salud están ligadas, a la duración, forma de exposición, fuente y tipo de arsénico. La exposición prolongada a dosis de 0,005 a 0,09mg/kg peso corporal/día se traduce en arsenicosis³⁵.

La espectrometría de absorción atómica (AAS) es un método instrumental de la química analítica basado en la atomización del analito en matriz líquida, emplea usualmente un nebulizador prequemador para formar una niebla de la muestra y un quemador en forma de ranura. La niebla atómica es desolvatada y expuesta a una energía a una determinada longitud de onda emitida ya sea por una Lámpara de Cátodo hueco construida con el mismo analito o una Lámpara de Descarga de Electrones (EDL)³⁶.

La técnica de espectrometría de Absorción Atómica con Generación de Hidruros (GH-AAS) consta de tres etapas fundamentales: la generación y volatilización del hidruro, la transferencia del mismo y su posterior atomización en el espectrómetro de Absorción Atómica³⁷.

La técnica de generación de hidruros presenta alta sensibilidad ya que permite cuantificar en el orden de ppb en el análisis de ultratrazas como arsénico, antimonio, estaño, selenio, bismuto y plomo, que tiene

la propiedad de formar hidruros. Tal procedimiento incrementa los límites de detección para estos elementos por un factor de 10 a 100. Dado que muchas de estas especies tienen un alto porcentaje de toxicidad, es importante determinarlas en niveles de concentración bajos. Dicha toxicidad implica que los gases de la atomización deben ser eliminados de forma segura. Los hidruros volátiles se generan al agregar una solución acuosa acidificada del analito a un pequeño volumen de una disolución acuosa reductora como una solución de zinc y ácido clorhídrico, cloruro de estaño o comúnmente borohidruro de sodio al 1% contenida en un recipiente de vidrio. La reacción del arsénico es:



La arsina (AsH_3), el hidruro volátil en este caso, es llevada hacia la cámara de atomización mediante un gas inerte. La cámara es por lo regular un tubo de sílice calentado a varios cientos de grados en un horno de tubo o en una flama donde se realiza la descomposición del hidruro, generando la formación de átomos de analito^{37,38}.

Previamente a la generación de la arsina, la muestra, en caso de contener materia orgánica, requiere ser sometida a un proceso de digestión para destruir los compuestos orgánicos del arsénico y oxidarlo a arsénico (V). Este en el mineralizado es reducido a As (III) por reacción con yoduro de potasio o cloruro de estaño, quien posteriormente es convertido a arsina por acción de un agente reductor³⁹.

La concentración del analito se mide por absorción o emisión. En el presente análisis se utilizó la absorción⁴⁰.

1.4. Formulación del problema

¿Cuál es la concentración de arsénico en grano de *Oryza sativa* pilado, agua y suelo de cultivo procedente de los distritos de la provincia de Pacasmayo: San José, Guadalupe y San Pedro de Lloc, enero - junio, 2017?

1.5. Justificación del estudio

El arsénico es un elemento que se encuentra distribuido en el medio ambiente se halla de modo natural en el suelo, zonas rocosas y en aguas subterráneas o también es resultado de actividades antropogénicas.

La presencia de arsénico en el arroz, tanto en su forma orgánica como inorgánica, es un peligro potencial para la salud, teniendo en cuenta los niveles de toxicidad de esta sustancia. En el Perú, la población puede verse expuesta a este elemento a través del consumo de arroz, puesto que este cereal es el alimento que presenta mayor contaminación por este metaloide debido principalmente a su forma de cultivo; así mismo el arroz es un alimento de consumo masivo, base principal de la dieta y una buena fuente de calorías para la población. La exposición crónica a altas concentraciones de arsénico puede generar arsenicosis, cuyas manifestaciones más recurrentes se relacionan con alteraciones en la piel, y el desarrollo de diferentes tipos de cáncer y a enfermedades no transmisibles como la diabetes, hipertensión y cardiopatías²⁹.

Por lo anteriormente mencionado los resultados obtenidos en esta investigación pueden servir como punto de partida para nuevas investigaciones, para beneficio de la salud.

1.6. Hipótesis

Implícita

1.7. Objetivo

Objetivo general

- Determinar la concentración de arsénico en el grano de *Oryza sativa* pilado, agua y suelo de cultivo procedente de los distritos de la provincia de Pacasmayo: San José, Guadalupe y San Pedro de LLoc, enero - junio, 2017.

Objetivos específicos

- Determinar la concentración de arsénico en el grano de arroz (*Oryza sativa*) pilado de los distritos de la provincia de Pacasmayo: San José, Guadalupe y San Pedro de Lloc.
- Determinar la concentración de arsénico en el agua utilizada para el cultivo de arroz de los distritos de la provincia de Pacasmayo: San José, Guadalupe y San Pedro de Lloc.
- Determinar la concentración de arsénico entre las muestras de suelo de los diferentes campos de cultivo de arroz de los distritos de la provincia de Pacasmayo: San José, Guadalupe y San Pedro de Lloc.
- Comparar que la concentración de arsénico hallada en el grano de *Oryza sativa*, agua y suelo de cultivo de los distritos de la provincia de Pacasmayo: San José, Guadalupe y San Pedro de Lloc, con los estándares nacionales e internacionales.
- Establecer una correlación entre las concentraciones de arsénico en grano de arroz (*Oryza sativa*) pilado, agua y suelo procedentes de los distritos de Pacasmayo.

II. MÉTODO

2.1. Diseño de la investigación

No experimental, descriptivo

G **→** **O**

G: el grano de *Oryza sativa*, agua y suelo para ser materia de estudio

O: variable (concentración de arsénico)

2.2. Variables, operacionalización

- Concentración de arsénico

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores		Escala de medición
Concentración de arsénico	El arsénico (As, número atómico 33, peso atómico 74,922) es un metaloide que se presenta de forma orgánica e inorgánica en la naturaleza producto de las actividades humanas y de forma natural ²³ .	Se identificó con la técnica de espectrometría de absorción atómica con generación de hidruros.	Arroz pilado	Nivel Máximo de As: 0,2mg/kg según Codex Alimentarius ³²	Cuantitativa nominal
				Nivel Máximo de As: 0,3mg/kg según Reglamento Técnico MERCOSUR ⁴¹	
			Agua	Nivel Máximo de As: 0,1 mg/l según Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua ⁴²	
				Nivel Máximo de As: 0,05 mg/l según Norma para el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua de Venezuela ⁴³	
Suelo	Nivel Máximo de As: 15 mg/kg Ley de Prevención de suelos agrícolas Japonesa ⁴⁴				

2.3. Población y muestra

- Población: arroz (*Oryza sativa*) producido en el valle de Pacasmayo así como el agua y suelo de cultivo.
- Muestra: Se utilizó 9 muestras de 200 g de grano de *Oryza sativa* pilado; se usó 0,5g de muestra para el análisis de laboratorio, 3 muestras de 500 ml de agua; se usó 25 ml de muestra en el análisis de laboratorio y 3 muestras de suelo de 200g de los campos de cultivo; se usó 10g de muestra para el análisis de laboratorio procedentes de la provincia de Pacasmayo.
- Muestreo: Es de tipo no probabilístico dado que las muestras biológicas se han elegido en función a sus características y lugar de procedencia. Las muestras se obtuvieron en los molinos donde se industrializa el arroz, de los canales de regadío y de los campos de cultivo de la provincia de Pacasmayo.

Criterios de selección

- Grano pilado, entero con óptimas características organolépticas.
- Agua utilizada para el cultivo de arroz que no contenga impurezas, tomada a 20cm por debajo de la superficie.
- La muestra de suelo perteneciente a la 2 -3 capa de suelo (20 - 40cm) (40 – 60 cm), suelo húmedo.

Criterios de exclusión

- Grano con cáscara, quebrado y pigmentado.
- Agua superficial.
- Suelo barroso.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.

a) Técnica

Se utilizó como técnica la observación con respecto al contenido total de arsénico.

Como técnica operatoria para determinar los niveles de arsénico total en grano de arroz pilado (*Oryza sativa*) se aplicó el método de espectrometría de Absorción Atómica con generación de Hidruros con el método analítico de mineralización ácida.

b) Instrumento

En el presente trabajo de investigación se aplicó dos fichas de recolección de datos en donde, para muestras de grano *Oryza sativa* se indica el número de muestra, la variedad, ciudad de origen, tipo de irrigación y el nivel de arsénico. Para muestras de agua y suelo se indica el número de muestra, tipo de muestra, ciudad de origen y nivel de arsénico.

c) Procedimiento

Para el análisis de agua se siguió el siguiente protocolo:

Diseño de la curva de calibración: a partir de una solución estándar de arsénico de 1000,0 mg/L se preparó una solución de trabajo de 10,0 mg/L, y de aquí se preparó tres soluciones de 50,0 mL de estándar diluidas, a las cuales se adicionó 2,5 mL solución de ácido ascórbico-yoduro de potasio (5% de ácido ascórbico y 2% de KI) juntamente con 1,5 mL de ácido nítrico concentrado y el aforo con agua destilada. La muestra en blanco tiene los mismos reactivos menos el analito arsénico. Las concentraciones de las soluciones fueron de 10, 20 y 30 µg/L. Las soluciones reposaron por 30 minutos y sus absorbancias dieron los valores de 0,102, 0,210 y 0,304 respectivamente.

Preparación de las muestras: las muestras de agua que han sido preservadas con agua al 1%(p/v), se miden 25,0 mL y se adicionan los reactivos considerados en el estándar y se aforan las fioles a 50,0 mL. Se dejan en reposo y se leen en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica con generador de hidruros.

Par el análisis de tierra se siguió el siguiente protocolo:

Se pesa 10,0 g de tierra seca y cernida por malla de porosidad de 2 mm y se le adiciona 100 mL de una solución al 5% de ácido nítrico y se pone en agitación por 15 minutos. Se filtra y la solución queda lista para continuar su preparación.

Se toman 25 mL de la solución anterior y se adiciona los reactivos considerados para los estándares diluidos. Se deja en reposo y queda lista para su medición en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica con generador de hidruros.

Par el análisis del arroz se siguió el siguiente protocolo:

Se molió el arroz seco en un molino de granos a un tamaño de partícula menor de 0,5 mm y se pesaron 0,5 g y se pusieron en un crisol de porcelana y luego en un horno se calcinaron a 700°C por 5 horas. Se enfría.

Se adiciona 10 mL de HNO₃ al 5% luego unos 15 mL más y se filtra en una fiola de 50,0 mL donde se adiciona los reactivos de las soluciones estándar diluidas y se completa con agua. Se deja en reposo y se mide la solución en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica con generador de hidruros.

Para medir de arsénico total (As-t) por espectrometría de absorción atómica con generación de hidruros, la técnica consistió en la volatilización de hidruros de arsénico o arsina (H₃As) mediante la acción de agentes reductores en medio ácido, donde se utilizó un Espectrofotómetro de absorción atómica modelo Shimadzu AA-7000 con generador de hidruros modelo Shimadzu HVG-1, a una longitud de onda de 193,7 nm, con ancho de banda 1,5 nm, un tiempo de integración de 5 seg, con una intensidad de corriente de 8,5 mA, a una temperatura ambiental de 24.4°C y una humedad relativa de 64%.

2.5. Métodos de análisis de datos

Para especificar los niveles de arsénico total (As-t) se empleó estadística descriptiva. Se usó el programa de Excel para determinar los promedios, niveles máximos en las muestras de *Oryza sativa*, agua y suelo de cultivo. Se empleó el análisis de correlación lineal de Pearson para para determinar la asociación entre los tres tipos de muestras.

2.6. Aspectos éticos

- La investigación es original.
- La investigación respeta los derechos del autor.
- La información plasmada es real.
- Los resultados expuestos son reales, obtenidos tras la aplicación del proyecto.
- Protección y conservación del medio ambiente.

III. RESULTADOS

TABLA 1: Concentración de arsénico en el grano de *Oryza sativa* pilado procedente de los distritos de la provincia de Pacasmayo: San José, Guadalupe y San Pedro de LLoc, enero - junio, 2017.

N° MUESTRA	DISTRITO	SECTOR	ARSÉNICO (mg/kg)
M1	San José	Verdún	0,099
M2		Tecapa	0,141
M3		Portada De la sierra	0,201
M4	Guadalupe	Calera	0,171
M5		Guabal	0,184
M6		Alto Perú	0,101
M7	San Pedro de LLoc	San Pedro de Lloc	0,146
M8		Masanca	0,268
M9		Chocofan	0,130

Fuente: ficha de recolección de datos

TABLA 2: Concentración de arsénico en agua utilizada para el cultivo de arroz procedente de los distritos de la provincia de Pacasmayo: San José, Guadalupe y San Pedro de LLoc, enero - junio, 2017.

AGUA		
N° MUESTRA	DISTRITO	ARSÉNICO (mg/kg)
M10	Guadalupe	0.024
M11	San José	0.001
M12	San Pedro de Lloc	<0.001

Fuente: ficha de recolección de datos

TABLA 3: Concentración de arsénico en suelo de cultivo de arroz procedente de los distritos de la provincia de Pacasmayo: San José, Guadalupe y San Pedro de LLoc, enero - junio, 2017.

SUELO		
N° MUESTRA	DISTRITO	ARSÉNICO (mg/kg)
M13	Guadalupe	5,507
M14	San José	5,082
M15	San Pedro de LLoc	5,295

Fuente: ficha de recolección de datos

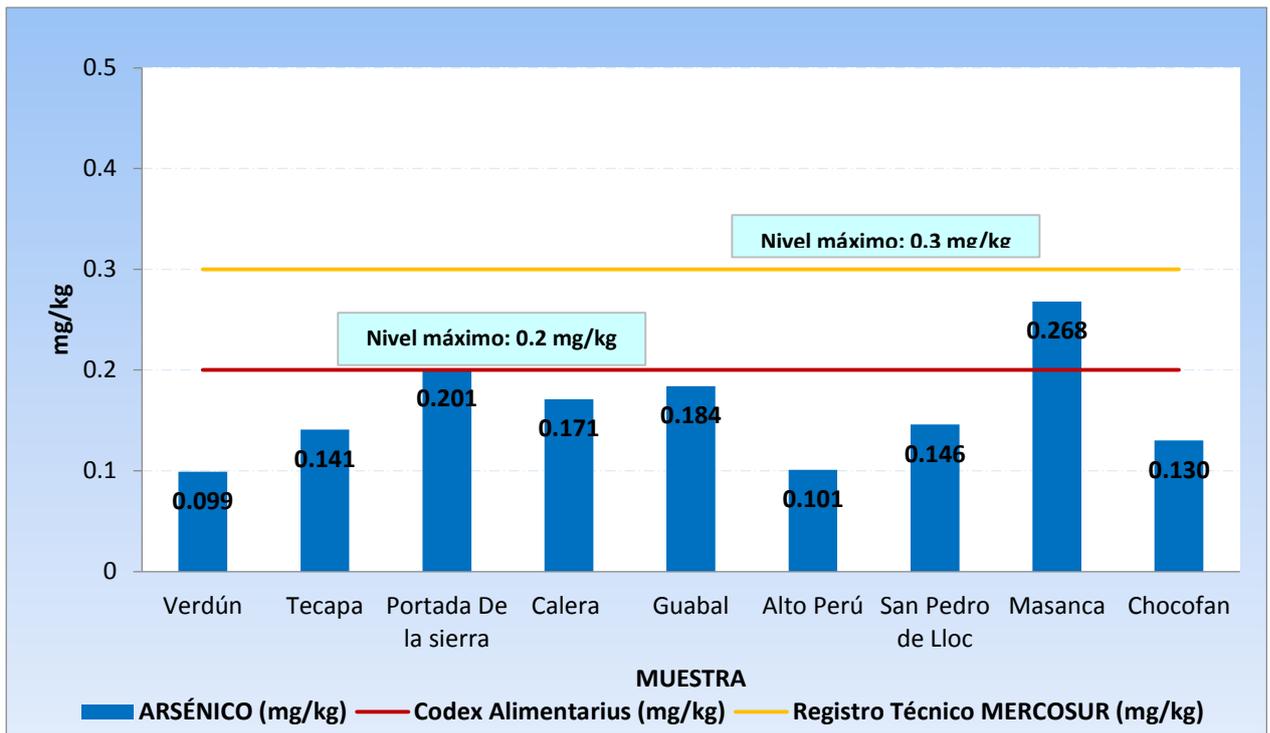


FIGURA 1A: Concentración de arsénico en el grano de *Oryza sativa* pilado procedente de los distritos de la provincia de Pacasmayo: San José, Guadalupe y San Pedro de Lloc comparado con el nivel máximo según el Codex Alimentarius y Registro Técnico Mercosur.

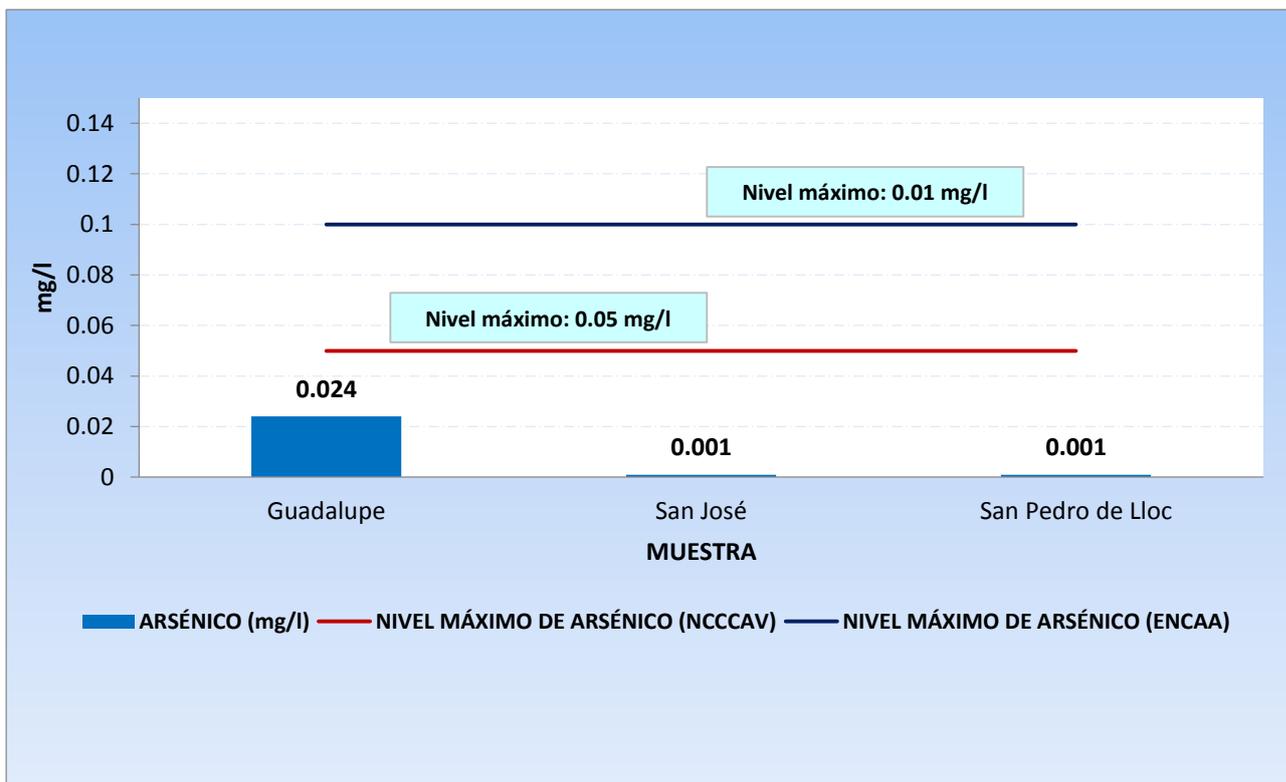


FIGURA 1B: Concentración de arsénico en agua utilizada para el cultivo de arroz (*Oryza sativa*) procedente de los distritos de la provincia de Pacasmayo: San José, Guadalupe y San Pedro de Lloc comparado con el nivel máximo de arsénico según Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Agua y la Norma para el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua de Venezuela.

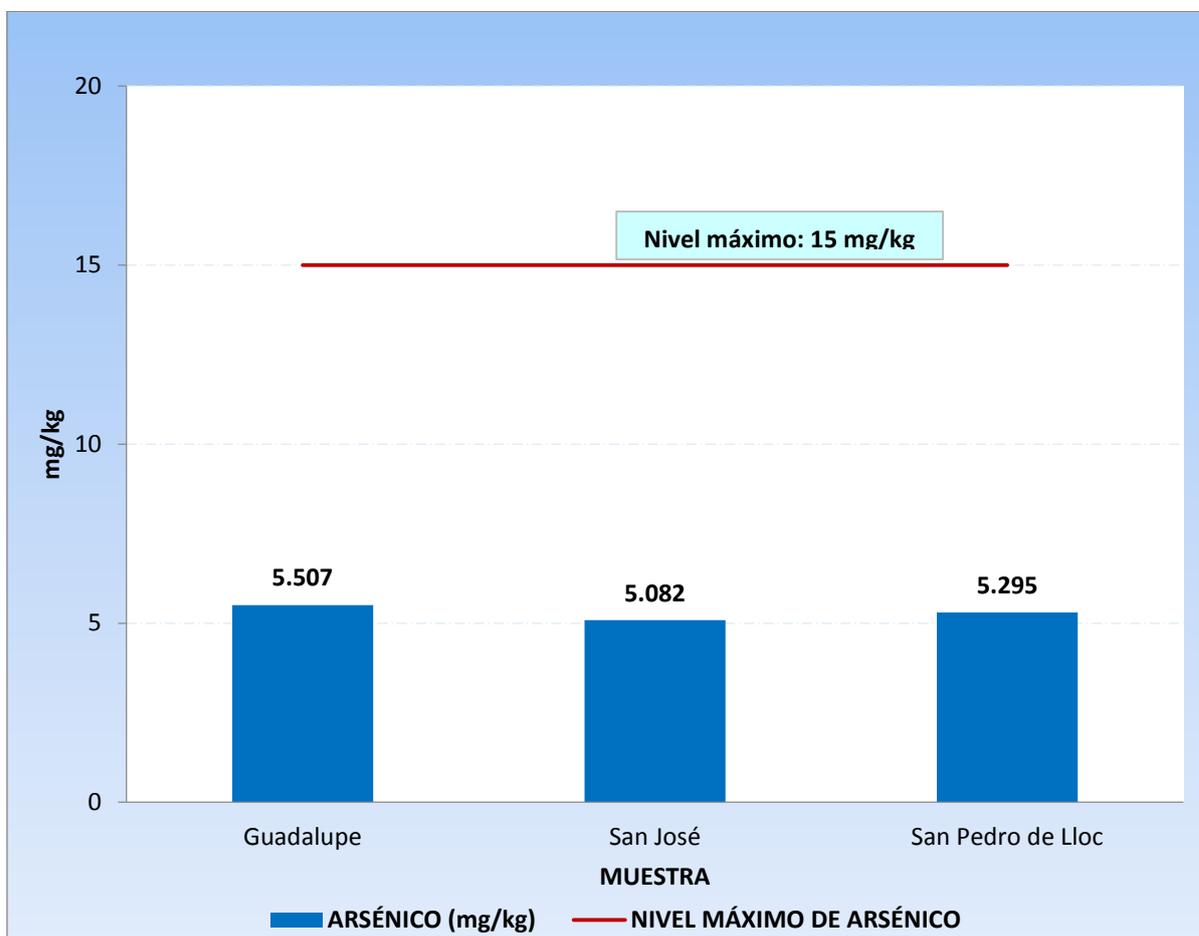


FIGURA 1C: Concentración de arsénico en suelo de cultivo de arroz (*Oryza sativa*) procedente de los distritos de la provincia de Pacasmayo: San José, Guadalupe y San Pedro de Lloc comparado con el nivel máximo de arsénico según la Ley de Prevención de suelos agrícolas Japonesa.

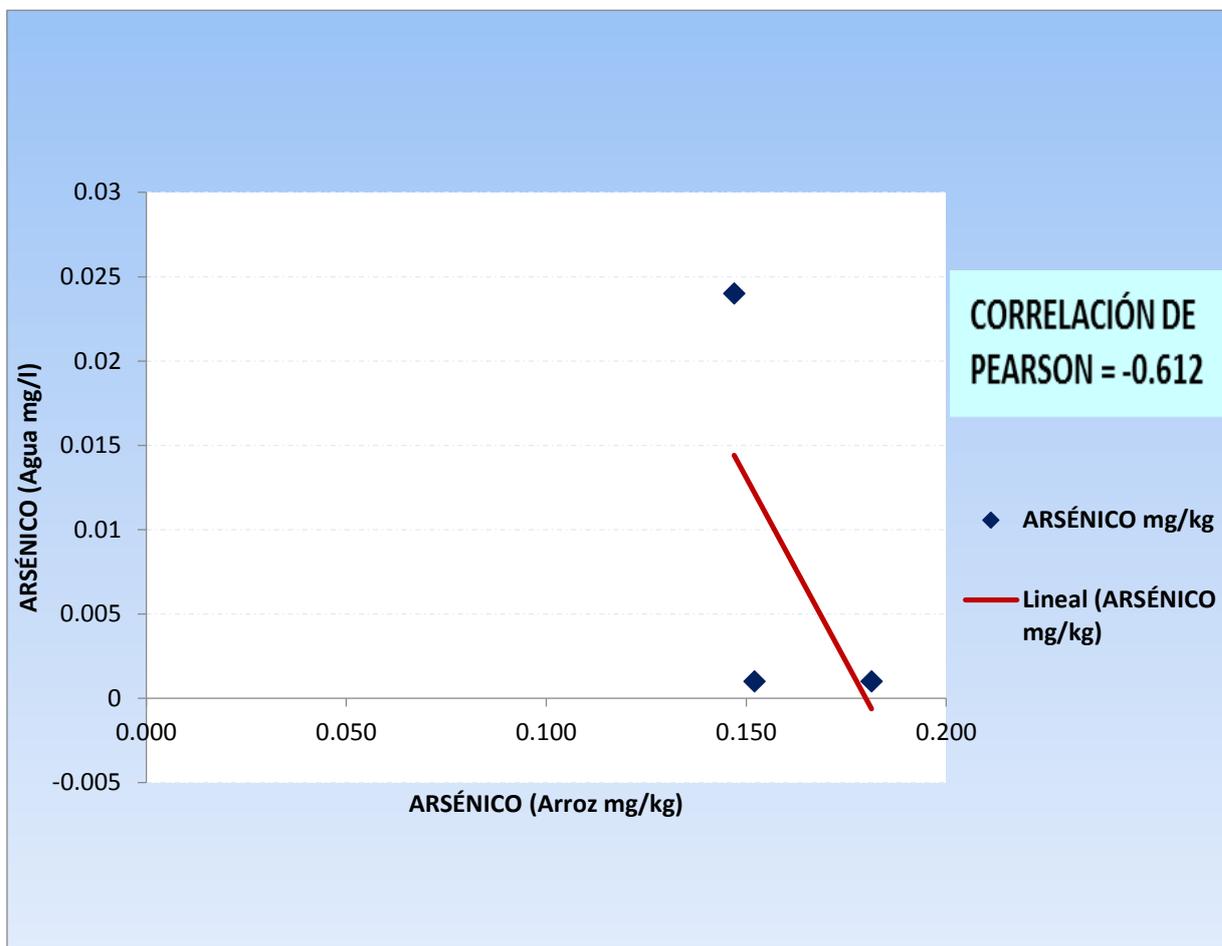


FIGURA 2A: Correlación de la concentración de arsénico en el grano pilado y del agua utilizado para el cultivo de arroz (*Oryza sativa*) procedente de los distritos de la provincia de Pacasmayo: San José, Guadalupe y San Pedro de Lloc, enero - junio, 2017.

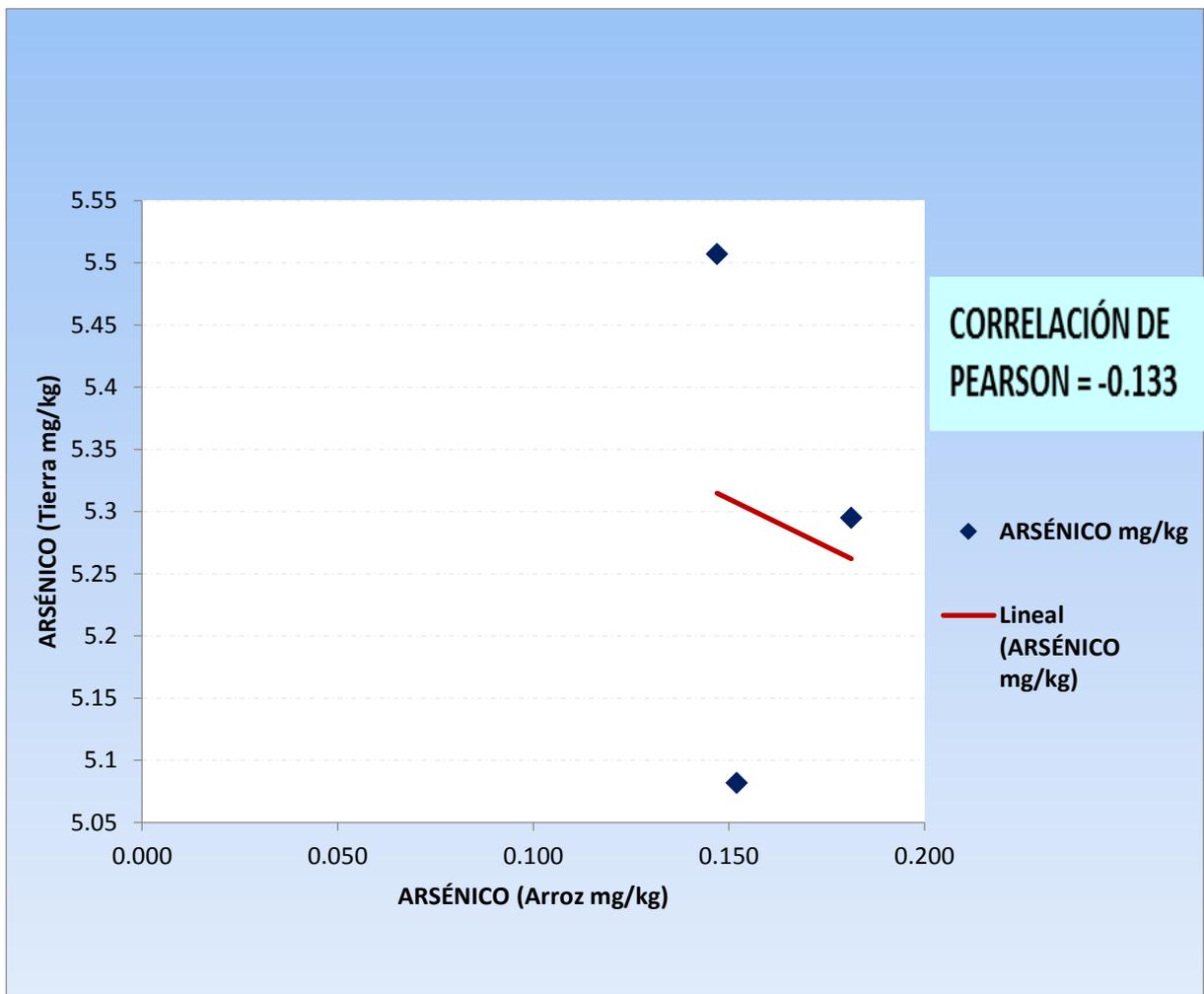


FIGURA 2B: Correlación de la concentración de arsénico en el grano pilado y del suelo de cultivo de arroz (*Oryza sativa*) procedente de los distritos de la provincia de Pacasmayo: San José, Guadalupe y San Pedro de Lloc, enero - junio, 2017.

IV. DISCUSIÓN

La geomorfología de la tierra condiciona que el arsénico se encuentre distribuido en todas partes. Lo encontramos en el aire, agua, suelos, vegetales y animales en un amplio rango de concentraciones; formando así parte de la cadena alimenticia. Es por ello que el arsénico representa un riesgo para la salud humana por su elevada toxicidad.

El arroz (*Oryza sativa*) absorbe grandes cantidades de arsénico, sin embargo las especies de arsénico varían de un continente a otro. El arroz (*Oryza sativa*) cultivado en el continente Asiático presenta un contenido más alto de arsénico inorgánico en comparación con el de Estados Unidos y Europa, pero los niveles de arsénico total son más elevados, a excepción de Chile y Bangladesh que son países más contaminados²⁷.

En la tabla 1, respecto a la concentración de arsénico en el grano de *Oryza sativa* pilado se observa que de las 9 muestras de arroz pilado analizadas el valor mínimo de arsénico hallado fue de 0,099 mg/kg; el valor máximo fue de 0,268 mg/kg y el promedio fue de 0,16011111 mg/kg; dichos resultados son similares a los obtenidos en el estudio realizado por Chuchón y Chumbipuma⁵ en un mercado limeño donde el promedio de arsénico fue de 0,1996 mg/kg, con un valor mínimo de 0,06 mg/kg y un valor máximo de 0,35 mg/kg; también son similares a los resultados obtenidos en el estudio realizado por López B y López K⁶ en El Salvador donde el promedio de arsénico obtenido de las 9 muestras analizadas fue de 0,103 mg/kg.

Por otro lado, Schencke⁴⁵ en su estudio realizado en 21 muestras de arroz expendidas en mercados chilenos, obtuvo una concentración máxima de arsénico mayor (0,98 mg/kg). Así mismo Feng⁹ tras el análisis de arroz procedente de China obtuvo niveles de arsénico que oscilan entre 0,653 y 2,742 mg/kg, dichos resultados superan ampliamente a los obtenidos en nuestro análisis. Al comparar los resultados la mayor presencia de arsénico en arroz procedente de China se relaciona con factores como las

características fisicoquímicas de los suelos, la utilización de insumos químicos en un alto porcentaje, el riego por inundación, etc.

En el presente estudio el valor de la mediana respecto a la concentración de arsénico en arroz fue de 0,146 mg/kg; al compararla con los resultados obtenidos por Meharg⁸ quien estudió 901 muestras de 10 países de 4 continentes donde el valor de la mediana del contenido total de arsénico en arroz varía 7 veces; India 0,07mg/kg y Egipto 0,04 mg/ kg presentan el menor nivel de arsénico, caso contrario es de Francia 0,28 mg/kg y Estados Unidos 0,25 mg/kg que poseen los niveles más elevados, se observa que nuestros resultados son intermedios a los obtenidos en estos países.

En la tabla 2, en relación a la concentración de arsénico en el agua utilizada para el cultivo de arroz (*Oryza sativa*), los resultados oscilan entre <0,001 – 0,024 mg/l, similares a los obtenidos en el estudio desarrollado por el Instituto Geológico Minero Metalúrgico en la cuenca del Río Jequetepeque – Loco de Chaman siendo la concentración de arsénico hallada de 0,004 mg/l¹⁴, por otro lado fueron menores a los obtenidos en el estudio de afección de los metales traza en la cuenca del Jequetepeque; 0,7 mg/l de arsénico a lo largo de toda la cuenca¹².

En la tabla 3 se observan los resultados respecto a la concentración de arsénico en suelo de cultivo de arroz (*Oryza sativa*), se obtuvo un valor mínimo de 5,082 mg/l y un valor máximo de 5,507 mg/l de muestra, los cuales difieren de los hallados por Mercado et al¹⁶ en la investigación realizada en suelos y productos agrícolas procedentes de la región cercana al complejo metalúrgico Vinto donde se encontraron niveles de arsénico que oscilan entre 1675 mg/kg – 1900 mg/kg; esto puede deberse a la alta concentración de residuos mineros tanto en el agua como la atmósfera.

En la figura 1A, al comparar los niveles de arsénico hallados en las 9 muestras de grano de arroz (*Oryza sativa*) pilado con el nivel máximo establecido en el Codex Alimentarius de 0,2 mg/kg y el Registro Técnico MERCOSUR de 0,3 mg/kg se observa que las dos muestras correspondientes a los sectores de Portada de la Sierra y Masanca

presentan concentraciones de arsénico de 0,201 mg/kg y 0,268 mg/kg respectivamente que superan dicho nivel máximo establecido por el Codex Alimentarius, sin embargo todos los se encuentran dentro de los rangos de normalidad de acuerdo al nivel máximo establecido por el Registro Técnico MERCOSUR^{32,41}.

Al comparar la concentración de arsénico de las 3 muestras de agua utilizada para el cultivo de arroz con los estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua de 0,1 mg/l y por la Norma para el Control de la Calidad de los cuerpos de agua de Venezuela de 0,05 mg/l, según la figura 1B, se observa que los resultados no superan el nivel máximo establecido^{42,43}.

En la figura 1C se compara los niveles de arsénico hallados en las 3 muestras de suelo de cultivo con el nivel máximo establecido por la Ley de Prevención de suelos agrícolas Japonesa que establece para arsénico 15 mg/kg, dichos resultados son menores al Nivel Máximo permitido⁴⁴.

En la figura 2A con respecto a la correlación entre la concentración de arsénico en grano arroz (*Oryza sativa*) pilado y agua utilizada para su cultivo determinada mediante el coeficiente de correlación de Pearson señala que existe una correlación negativa entre el nivel de arsénico hallado en grano de arroz (*Oryza sativa*) pilado y el nivel de arsénico hallado en el agua utilizada para su cultivo. Podemos observar que los niveles de arsénico en grano de arroz (*Oryza sativa*) pilado y agua utilizada para su cultivo se encuentran relacionados inversamente. El valor hallado es $r = -0,612$; lo que indica que los niveles de arsénico hallados en arroz (*Oryza sativa*) pilado no están influenciados por los niveles de arsénico en el agua de cultivo. Por el contrario García en su estudio de contaminación con arsénico en alimentos producidos en la Comarca Lagunera (*México*), encontró una relación directa con el contenido de arsénico en el agua de cultivo que sobrepasaba el Límite máximo permisible⁴⁶.

En la figura 2B en relación a la correlación entre la concentración de arsénico en grano arroz (*Oryza sativa*) pilado y suelo de cultivo determinada mediante el coeficiente de correlación de Pearson señala que existe una correlación

negativa entre el nivel de arsénico hallado en grano de arroz (*Oryza sativa*) pilado y el nivel de arsénico hallado en suelo de cultivo. Podemos observar que los niveles de arsénico en grano de arroz (*Oryza sativa*) pilado y suelo de cultivo se encuentran relacionados inversamente. El valor hallado es $r = -0,133$; lo que indica que los niveles de arsénico hallados en el suelo de cultivo no influyen respecto a los niveles de arsénico en el grano de arroz (*Oryza sativa*) pilado. Por el contrario, en un estudio realizado en 17 aldeas de India afectadas por contaminación de arsénico, donde se analizó la transferencia de arsénico del agua de riego y el suelo de cultivo a las plantas de arroz, se vio lo contrario. Los resultados arrojaron que el nivel de arsénico en el agua de riego se hallaba en rango de $0,11 \pm 0,012$ y $0,76 \pm 0,014$ mg/l excediendo significativamente el límite permitido por la OMS de 0,01 mg/l para el agua potable y por la FAO de 0,10 mg/l para el agua para riego. En el suelo de cultivo las concentraciones de arsénico fue de $1,38 \pm 0,108$ a $12,27 \pm 0,094$ mg/kg peso en seco, siendo inferior al límite máximo aceptable para el suelo agrícola, de 20,0 mg/kg, según recomendación de la Unión Europea. En la planta de arroz, la acumulación más alta se halló en las raíces ($7,19 \pm 0,166$ a $18,63 \pm 0,155$ mg/kg) y la más baja en el grano ($0,25 \pm 0,014$ a $0,73 \pm 0,009$ mg/kg). Concluyendo que el total de arsénico en la planta de arroz se relaciona con el grado de contaminación por arsénico en suelo y agua de riego. La acumulación de arsénico sigue la siguiente secuencia: raíces > paja > cáscara > grano. Debido a que el cuerpo humano no absorbe todo el arsénico presente en el arroz ya que se distribuye entre las raíces, la paja, la cáscara y el grano, la atención deberá concentrarse en el grano⁴⁷.

Sin embargo es importante mencionar que existen diversos factores asociados a la contaminación del cultivo de arroz como el riego por inundación, la cercanía a zonas de explotación minera, los suelos contaminados, la forma de preparación y el tipo de procesamiento: integral o blanco; siendo uno de los más importantes el uso de agua contaminado en el riego⁴⁸.

Así mismo las características físicas, químicas y biológicas tanto del suelo como del agua son importantes para el control de transferencia de arsénico

a las plantas y de su capacidad absorción en el caso del suelo. Por ejemplo, en los suelos de fracciones finas (arena y limo) existe menor cantidad de arsénico ya que la capacidad de adsorción de arsénico es menor debido a una baja área superficial a diferencia de los suelos de textura gruesas (arcilla) es el principal absorbente⁴⁸.

Entre las características químicas tenemos el nivel de pH, ya que a mayor valor de pH aumenta su disponibilidad, el potencial redox hace más disponible el arsénico o reduce el arseniato a arsenito, que es una forma más tóxica; pero su adsorción se va a ver disminuida por las reacciones de absorción de la superficie mineral óxidos e hidróxidos de hierro, aluminio y magnesio que tienen una fuerte afinidad por el arsénico, la materia orgánica quien bloquea los sitios de absorción del suelo por parte de su fracción soluble (ácidos fúlvicos y húmicos) y la actividad microbiológica⁴⁹.

En el agua, otro factor que influye en la disponibilidad de arsénico es la presencia de nitritos ya que este va a generar una disminución de la absorción del arsénico⁴⁹.

Las raíces de las plantas son el medio por el cual los transportadores de fosfato le transfieren el arseniato y luego este es reducido a arsenito aumentado así la disponibilidad y la toxicidad de la planta; sin embargo, cuando el fosfato se encuentra en grandes concentraciones compite con el arsénico por los transportadores en la superficie de la raíz disminuyendo la absorción del arsénico y por lo tanto la toxicidad de la planta^{50,51}.

Así mismo las plantas utilizan una defensa oxidativa para defenderse de factores de estrés externos por medio de antioxidantes enzimáticos y antioxidantes de bajo peso molecular. En el caso del arsénico las plantas como mecanismo de resistencia reducen el arseniato a arsenito y forma complejos con moléculas que contienen grupos tiol como los fitoquelantes, metalotioneínas, además del glutatión reducido para ser secuestrado por vacuolas^{52,53}.

Finalmente una medida a optar para disminuir los niveles de arsénico del grano de arroz, es la limpieza y molturación del mismo; esto puede modificar

la concentración de arsénico presente en el cultivo cosechado, crudo. También remojar o lavar el arroz y desechar el agua antes de llevarlo a cocción reduce los niveles de arsénico, principalmente las formas inorgánicas. Al hervir se ha demostrado que disminuye los niveles de arsénico excepto cuando se realiza la cocción con agua contaminada con este metaloide ya que esto puede aumentar su concentración⁴⁶.

V. CONCLUSIONES:

- La concentración de arsénico en las muestras de grano de arroz (*Oryza sativa*) pilado presentan un promedio de 0,16 mg/kg.
- La concentración de arsénico en el agua utilizada para el cultivo de arroz presentan un promedio de 0,008 mg/l.
- La concentración de arsénico en las muestras de suelo de cultivo presentan un promedio de 5,29 mg/kg.
- En las muestras de grano de *Oryza sativa* pilado, suelo y agua de cultivo, la concentración de arsénico se encuentra dentro de los estándares nacionales e internacionales, excepto 2 (22%) de muestras de arroz (*Oryza sativa*) pertenecientes a los sectores de Portada de la Sierra y Masanca que supera el Nivel Máximo Permitido de acuerdo al Codex Alimentarius.
- No existe correlación entre la concentración de arsénico hallado en grano de arroz (*Oryza sativa*) pilado y el nivel de arsénico hallado en el agua utilizada para su cultivo siendo el índice de coeficiente de correlación de Pearson $r = -0,612$; así como con la concentración de arsénico presente en el suelo de cultivo siendo el índice de coeficiente de correlación de Pearson $r = -0,133$.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar investigaciones en relación a la concentración de metales pesados en el arroz, por ser este un alimento consumido en un alto porcentaje.
- Incluir en el análisis las características físicas, químicas y biológicas tanto del suelo como del agua ya que van a influir en la disponibilidad y transferencia del arsénico hacia la planta.
- Realizar estudios comparativos con muestras de arroz procedentes a otras regiones del país debido a la variedad en las características físico químicas del suelo, agua y de la forma de cultivo.

VII. REFERENCIAS

1. INEI Perú. [Página en internet]. Perú: Consumo per cápita de los principales alimentos 2008 -2009 [Actualizado 9 dic 2016; citado 9 dic 2016]. Disponible en:
https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1028/cap01.pdf
2. Vasallo L. Yacimientos minerales metálicos.4ed. Querétaro México: UNAN; 2008.
3. Perez A, Fernandez A. Probemática del Arsenico en Latinoamerica. [Título de Maestría en Gestión del Agua]. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires; 2013.
4. Jov. Arsénico en agua potable en todo el mundo.DW-world.De.2007 Abr 24; Ecología: 1.
5. Chuchón M, Chumbipuma M. Determinación de Plomo, Cadmio y Arsénico en Arroz (*Oryza Sativa*) expendido en el Mercado Municipal 3 de Febrero –Distrito De La Victoria Provincia De Lima - Período De Junio –Noviembre 2015.[Tesis para optar el Título Profesional de Químico Farmacéutico]. Lima; 2015.
6. López B, López K. Cuantificación de plomo y arsénico en el arroz del Programa de Alimentación y Salud Escolar de El Salvador. [Tesis para optar el título de química y farmacia]. El Salvador: Universidad de El Salvador; 2015.
7. Lamadrid M. Control de la Toxicidad en arroz de procedencia Iraní. [Tesis para optar el título de Ingeniería Química].Elche: Universidad Miguel Hernández; 2015.
8. Meharg A. Geographical variation in total and inorganic arsenic content of polished (white) rice.Pub Med. 2009; 43(5):1612-1617.
9. Feng L. Total and speciated arsenic levels in rice from China. 2010; 27(10): 810-816.
10. Instituto de Minería y Medio ambiente de la Universidad de Ingeniería. Estudio de evaluación ambiental territorial y de planteamientos para la reducción de la contaminación de origen minero en la cuenca del río Jequetepeque.UNI. 2000.

11. Montes I. Evaluación de la calidad del Agua de la Microcuenca quebrada Honda, mayo 200 – mayo 2001. [Tesis para optar el título de Ingeniero Ambiental]. Huaraz: Universidad Nacional de Ancash Santiago Antúnez De Mayolo; 2002.
12. Planas M. Estudio sobre metales pesados en la cuenca del Jequetepeque, Perú. [Tesis para optar el título de Ingeniero Químico]. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña; 2010.
13. CEPES Perú. [Página en internet]. Perú: Diagnóstico de calidad de agua cuenca del Rio Santa. [Actualizado 16 Nov 2016; citado 16 Nov 2016]. Disponible en:
http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/diagnostico_calidad_agua-tomo1/diagnostico_calidad_agua_cuenca_rio_santa.pdf
14. Instituto Geológico Minero Metalúrgico. Estudio Geoambiental de la cuenca de los ríos Jequetepeque y Lolo de Chaman. INGEMMET.2007; 36(C): 103 – 130.
15. Graza F. Determinación de Pb, Cd, As en aguas del río Santa en el pasivo minero ambiental de Recuay, Ticapampa; Recuay – Ancash. [Tesis para optar el título de Químico Farmacéutico]. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 2015.
16. Mercado M, García E M, Quintanilla J, Evaluación de los Niveles de Contaminación por Plomo y Arsénico en muestras de Suelos y productos Agrícolas Procedentes de la región cercana al Complejo metalúrgico Vinto. Revista Boliviana de Química 2009; 26(2):101-110.
17. Acevedo M, Castrillo W, Belmonte U. Origen, evolución y diversidad del arroz. Agronomía Trop. 2006; 56 (2).
18. Norma del Codex para el arroz. Codex Stan 198-1995.
19. Secretaria de Agricultura y Ganadería. Manual Técnico para el cultivo de arroz. SAG.2003.
20. Olmos F. Apunte de morfología, fenología, ecofisiología, y mejoramiento genético del arroz.2007.
21. Ecu Red. [Página en Internet].Cuba: 2016. [Actualizado 3 octubre 2016, citado 3 octubre 2016]. Disponible en:
<https://www.ecured.cu/Arroz>

22. Instituto Nacional de Salud. Tablas peruanas de composición de alimentos. En: Cereales. 8ed. Lima: Ministerio de Salud, Instituto Nacional de Salud; 2009.p.14-15.
23. World Wildlife fund for Nature. Manual de Buenas prácticas de riego. [Serie en Internet].2009 oct [citado 11 Jun 2017]: 1(1): 5 -12. Disponible en:
http://awsassets.wwf.es/downloads/buenas_practicas_de_riego.pdf
24. Acosta C. Narraciones de la ciencia. Inventio. 2006. [Serie en Internet].2006 [citado 11 Jun 2017]: 1(1): 55 -59. Disponible en:
<https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-79266/El%20suelo%20vivo.pdf>
25. Manual de recomendaciones técnicas.78 ed. Costa Rica: INTA; 2009. 21-23
26. Albores A, Quintanilla B, Del Razo L, Cebrián M. Arsénico. Introducción a la Toxicología ambiental. Metepec; 1997.p. 247-261.
27. INS. Documento de evaluación de riesgos para la Inocuidad de los Alimentos: Perfil de riesgo de arsénico en arroz en Colombia Unidad UERIA. Bogotá: MSPS: Bogotá; 2013.
28. Guía técnica: Guía de práctica clínica para el diagnóstico y tratamiento de la intoxicación por arsénico.RM 389. Memorando N°550 (18 mayo 2011).
29. Galetovic A. Arsénico en el agua de bebida: un problema de salud pública. RCBF. 2003; 39(4).p. 366-367; 368-369.
30. Hughes F, Beck D, Chen Y, Lewis A, Thomas D. Arsenic exposure and toxicology: a historical perspective. Toxicol Sci. 2011;123(2):305.
31. Tufo A. Retención de contaminantes metálicos y arsénico por oxo(hidr)óxidos de hierro puros y sustituidos. [Tesis Doctoral]. Argentina: Biblioteca Digital FCEN-UBA; 2013.
32. Comisión Codex Alimentarius. Propuesta de niveles máximos para el arsénico en el arroz (sin elaborar y arroz pulido).Italia:2014.
33. Saborío L, Hidalgo L. Consumo de arsénico y riesgo cardiovascular. Med. leg. Costa Rica. 2015; 32 (1).

34. Comisión Codex Alimentarius. Documento de debate sobre el arsénico en el arroz. Italia: 2011.
35. Khageshwar S, Bharat L, Shobhana R, Bontempi E. Contamination of Paddy Soil and Rice with Arsenic. Journal of Environmental Pollution. 2016(3).
36. Rocha E.; Principios Básicos de Espectroscopía; México: UACH; 2000.
37. Skoog D, Holler F, Crouch S. Principios de análisis instrumental. 6ta edición. Mexico: Cengage Learning; 2008
38. Morand E, Giménez María C, Benitez, M, Garro O. Determinación de arsénico en agua por espectrometría de absorción atómica con generación de hidruro (HG-AAS). UNNE. 2002; 28
39. Litter M, Armienta M, Farías S. IBEROARSEN Metodologías analíticas para la determinación y especiación de arsénico en aguas y suelos. Argentina: CYTED; 2009
40. Skoog D, Holler F, Crouch S. Principios de análisis instrumental. 6ta edición. Mexico: Cengage Learning; 2008.
41. Reglamento Técnico Mercosur sobre Límites Máximos de Contaminantes Inorgánicos en Alimentos. Res 12.GEM (17 Jun 2011).
42. Modifican los estándares nacionales de calidad ambiental para agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación. DS N°015. Boletín oficial del estado número 569076 (19 Dic 2015).
43. Revisión Pública de Normas para la clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos. Decreto 883. Gaceta oficial 5.021 (15 Feb 2005).
44. Anh J. Kim K. Environmental assessment of contaminación soil around abandoned mines using the current soil quality standards. Japon: Journal environment policy; 2004.
45. Schencke V. Determinación de Elementos Traza (Pb, Hg, Cd, As, Cu, Mn, Zn, Ca, Mg y Fe) en arroz (*Oryza Sativa*) y trigo mote (*Triticum Aestivum*) de diferentes marcas comerciales. [Tesis para optar el título de Químico Farmacéutico]. Chile: Universidad Austral de Chile; 2010.

46. Comisión Codex Alimentarius. Programa Conjunto FAO/OMS sobre Normas Alimentarias Comité del Codex sobre Contaminantes de los Alimentos. Países Bajos: 2011.
47. García S, Hernández S, García V, Valdez A. Estudio del Contenido de Arsénico en alimentos de consumo humano producidos en la Comarca Lagunera (México). México: Bioquímica; 1994.
48. Carbonell A, Burló F, Mataix J. Arsénico en el Sistema Suelo Planta. España: Espagrafic; 1995.
49. Moreno E. Recuperación de Suelos Mineros Contaminados con Arsénico mediante Fitotecnologías. [Tesis Doctoral]. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid: Departamento de Química Agrícola; 2010.
50. Wang et al. Mechanisms of arsenic hyperaccumulation in *Pteris Vittata*. Uptake kinetics, interactions with phosphate, and arsenic speciation. *Plant Physiol.* 2002; (130): 1552-1561.
51. Meharg A, Macnair M. Suppression of the high-affinity phosphate uptake system: a mechanism of arsenate tolerance in *Holcus lanatus* L. *J Exp Bot* 1992; (43): 519-524.
52. Pickering I, Prince R, George M, Smith R, George G, Salt D. Reduction and coordination of arsenic in indian mustard. *Plant Physiol.* 2000; (122): 1171-1178.
53. Schmöger M, Oven M, Grill E. Detoxification of arsenic by phytochelatins in plants. *Plant Physiol.* 2000; (122); 793-801.

ANEXOS

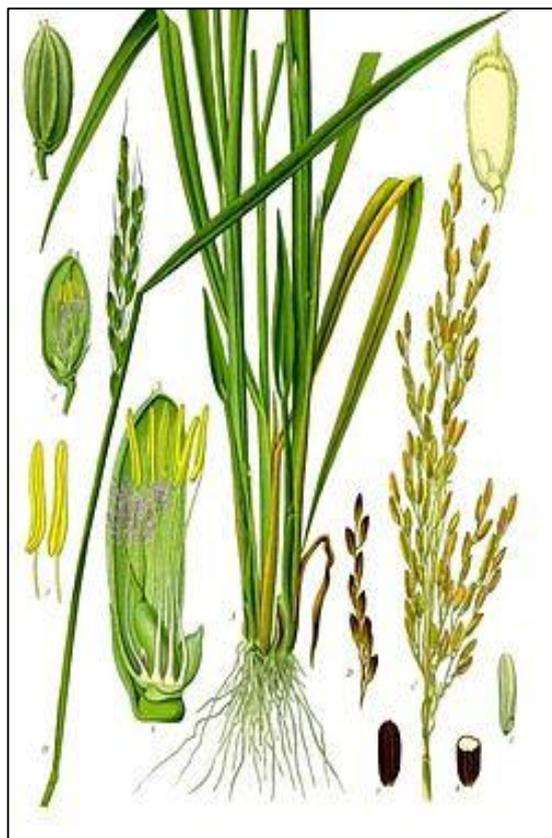


Figura 1: Planta y partes de *Oryza sativa*



Figura 2: Grano de *Oryza sativa* pulido



Figura 3: Arsénico en el medio ambiente



Figura 4: Espectrofotómetro de absorción atómica modelo SHIMADZU AA-7000 con generador de hidruros modelo SHIMADZU HVG-1



Figura 5: Muestras de Arroz (*Oryza sativa*) pilado



Figura 6: Muestras de Suelo

ANEXO 2: Fichas de Recolección de Datos

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS 1: Concentración de As en grano de <i>Oryza sativa</i> pilado							
N° MUESTRA	VARIEDAD	ORIGEN		TIPO DE IRRIGACIÓN	RESULTADOS		
		Distrito	Sector		ppb	ppm	mg/kg
M1	Nir	San José	Verdún	Canal San José	99,371	0,099	0,099
M2	Nir		Tecapa	Canal San José	141,409	0,141	0,141
M3	Nir		Portada De la Sierra	Canal San José	200,800	0,201	0,201
M4	Nir	Guadalupe	Calera	Canal Puente Guadalupe	171,225	0,171	0,171
M5	Nir		Guabal	Canal Guabal	183,678	0,184	0,184
M6	Nir		Alto Perú	Canal Puente Guadalupe	101,195	0,101	0,101
M7	Nir	San Pedro de Lloc	San Pedro de Lloc	Canal san Pedro de Lloc	145,756	0,146	0,146
M8	Nir		Masanca	Canal san Pedro de Lloc	268,358	0,268	0,268
M9	Nir		Chocofan	Canal san Pedro de Lloc	129,753	0,130	0,130

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS 2: Concentración de As en Agua y Suelo					
N° MUESTRA	TIPO DE MUESTRA	ORIGEN	RESULTADOS		
			ppb	ppm	mg/kg
M10	Agua	Guadalupe	23,595	0,024	0,024
M11		San José	0,626	0,001	0,001
M12		San Pedro de Lloc	<0.1	<0,001	<0,001
M13	Suelo	Guadalupe	5507,384	5,507	5,507
M14		San José	5082,074	5,082	5,082
M15		San Pedro de Lloc	5295,299	5,295	5,295