

**Centro de Investigación Científica y de Educación  
Superior de Ensenada, Baja California**



---

**Programa de Posgrado en Ciencias de la Vida  
con orientación en Biotecnología Marina**

---

**Caracterización química del guano de aves marinas de la  
Isla San Jerónimo, Baja California, México y su viabilidad  
como fertilizante agrícola**

Tesis

para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de  
Maestro en Ciencias

Presenta:

**Yulizet Sánchez García**

Ensenada, Baja California, México.  
2016

Tesis defendida por

**Yulizet Sánchez García**

y aprobada por el siguiente Comité



---

**Dra. Ana Denisse Re Araujo**  
Codirectora de Tesis



---

**Dr. Enrique Hernández Garibay**  
Codirector de Tesis

**Dr. Thomas Gunter Kretzschmar**

**Dra. Gisela Heckel Dziendzielewski**



---

**Dra. Clara Elizabeth Galindo Sánchez**  
Coordinador del Posgrado en Ciencias de la Vida



---

**Dra. Rufina Hernández Martínez**  
Director de Estudios de Posgrado

Yulizet Sánchez García © 2016

Queda prohibida la reproducción parcial o total de esta obra sin el permiso formal y explícito del autor

Resumen de la tesis que presenta **Yulizet Sánchez García** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en el posgrado de Ciencias de la Vida con orientación en Biotecnología Marina.

### **Caracterización química del guano de aves marinas de la Isla San Jerónimo, Baja California, México y su viabilidad como fertilizante agrícola**

Resumen aprobado por:

  
\_\_\_\_\_  
**Dra. Ana Denisse Re Araujo**  
Codirectora de Tesis

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Enrique Hernández Garibay**  
Codirector de Tesis

El guano de origen marino se define como la mezcla de excretas de aves y mamíferos marinos con material terrígeno y desperdicios orgánicos (pescado, huevos, cascarones, plumas y restos de nidos, etc.), que son depositados y acumulados en la zona costera. Para la formación de grandes depósitos de guano rico en nutrientes como nitrógeno amoniacal y fósforo, es indispensable que los depósitos se encuentren en latitudes con un clima árido, de baja precipitación, que permitan el proceso de su biogénesis. En este estudio se trabajó con el guano depositado en la Isla San Jerónimo, ubicada en latitudes con clima árido, frente a la Bahía El Rosario, en la península de Baja California. Se encuentra adyacente a una zona rica en nutrientes debido a la advección de agua fría de la Corriente de California, que se caracteriza por su alta productividad biológica, que alimenta a grandes poblaciones de aves y mamíferos marinos productores de guano. Se hizo una descripción física del guano recolectado y se clasificó como guano fresco, guano joven y guano fósil, en función del tiempo transcurrido desde su depositación. Los tipos de guano se relacionaron con la presencia de las especies de aves y mamíferos marinos que habitan en la Isla. Posteriormente, las muestras de guano se solubilizaron mediante una lixiviación ácida ( $H_2SO_4$ ) y una lixiviación alcalina (KOH) para extraer los nutrientes presentes en el guano. En cada extracto se determinó el contenido de nitrógeno (Micro Kjeldahl) y fósforo (método colorimétrico de azul de molibdeno). Los resultados mostraron que la lixiviación ácida fue más eficiente para solubilizar los componentes minerales, mientras que la lixiviación alcalina contribuyó en la solubilización de componentes orgánicos. Se encontraron diferencias en la composición del guano de acuerdo a su edad, donde el guano fresco fue más abundante en materia orgánica, mientras que el fósil tuvo más componentes inorgánicos. Para evaluar la viabilidad de usar el guano en la producción de un fertilizante agrícola, se obtuvo un extracto con una composición de 2.4% de nitrógeno y 9.75% de  $P_2O_5$ , el cual se probó como fertilizante en un cultivo experimental de lechuga. Los resultados obtenidos muestran que el guano de la Isla San Jerónimo, a pesar de tener una concentración de N y P menor al guano comercial (peruano), provoca un crecimiento aceptable en las plantas fertilizadas, por lo que se concluye que es viable la utilización del guano de la Isla San Jerónimo como una fuente de fertilizante.

**Palabras clave:** *Guano, aves marinas, fertilizante orgánico, Isla San Jerónimo.*

Abstract of the thesis presented by **Yulizet Sánchez García** as a partial requirement to obtain the Master of Science degree in Life Sciences with orientation in Marine Biotechnology.

**Chemical characterization of seabird guano from San Jerónimo Island, Baja California, México and its viability as agricultural fertilizer**

Abstract approved by:



---

**Dra. Ana Denisse Re Araujo**  
Codirectora de Tesis



---

**Dr. Enrique Hernández Garibay**  
Codirector de Tesis

The guano of marine origin is defined as the mixture of excreta by marine birds and mammals with terrigenous material and organic waste (fish, egg shells, feathers and remains of nests, etc.), which are deposited and accumulated in the coastal zone. For the formation of large deposits of guano rich in nutrients such as phosphorus and ammoniacal nitrogen, it is essential that deposits are in latitudes with an arid climate, low rainfall, allowing the process of guano biogenesis. In this study we worked with the guano deposited on San Jerónimo Island, located at latitudes with arid climate, in El Rosario Bay, Baja California. It is located in an area rich in nutrients due to advection of cold water from the California Current, which is characterized by its high biological productivity, that nourishes large populations of birds and guano-producing marine mammals. A physical description of the guano was made, function of the elapsed time since their deposition, was classified as; fresh guano, young guano and fossil guano. The types of guano were correlated with marine birds and mammal's species that inhabit the Island. The samples of guano were solubilized by using a leaching acid ( $H_2SO_4$ ) and an alkaline leaching (KOH) to extract the nutrients present in the manure. In each of the extracts the nitrogen content (Micro Kjeldahl) and phosphorus (colorimetric method molybdenum blue respectively) was determined. The results showed that acid leaching was more efficient to solubilize the mineral components, while alkaline leaching contributed in solubilization the organic components. Differences according to their age in the guano composition were found, where the fresh guano was more abundant in organic matter, while the fossil had more inorganic components. With the proposed methodology an extract was tested as a fertilizer on experimental cultivation of lettuce with a composition of 2.4% nitrogen and 9.75%  $P_2O_5$ . The results show that the guano of San Jerónimo Island has a concentration of N and P less than the commercial guano (Peruvian), however, causes an acceptable growth in the plants were fertilized, it is concluded that it is feasible the use of guano from San Jerónimo Island as a source of fertilizer.

**Keywords:** *Guano, seabirds, organic fertilizer, San Jerónimo Island.*

## Dedicatoria

---

*Gracias por llenarme de amor y cariño, por ser mi motivación que me levanta día a día con una sonrisa en la cara, Te amo!*

*Para mi hijo Nicolás PS*

## Agradecimientos

---

*Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo económico otorgado para cursar mis estudios de maestría.*

*Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) y al Posgrado Ciencias de la Vida por haberme aceptado y darme la oportunidad de estudiar en sus instalaciones.*

*A mis codirectores de tesis: Dra. Denisse Re Araujo MUCHAS GRACIAS por confiar en mí desde que inicie el posgrado, por su apoyo y motivación. Al Dr. Enrique Hernandez Garibay MUCHAS GRACIAS por brindarme todo su conocimiento y confianza, por todo su apoyo y motivación, por las buenas convivencias en el laboratorio.*

*A mis sinodales: Dra. Gisela Heckel Dziendzielewski y Dr. Thomas Gunter Kretzschmar, les agradezco la confianza y apoyo que me han dado desde el principio, por sus consejos y buenos deseos para este proyecto.*

*A mi familia: Madre Gracias por no dejarme sola y siempre estar ahí para darme tu amor y apoyo. Jorge mi compañero de vida, Gracias apoyarme durante este nuevo reto y darme la confianza de que puedo hacerlo. Hermana, Gracias por tus consejos amor y cariño.*

*A MC Marla Macías Contreras, mi amiga y comadre de pluma, Muchas Gracias por apoyarme durante el proceso de este proyecto y por estar ahí cuando más lo necesite!*

*Ocean. David Lora, MUCHAS GRACIAS por su confianza y apoyo, por el tiempo dedicado a este proyecto, por brindarme su conocimiento, por no desanimarme y siempre hacerme ver hacia enfrente.*

*A la Empresa Algas y Extractos del Pacífico Norte AEP SA de CV, por hacerme participe de sus proyectos, por el apoyo económico durante la elaboración de la tesis. A todo el equipo Algas Pacific, por brindarme la mano en todo momento.*

*Al Centro Regional de Investigación Pesquera de Ensenada, B. C. por aceptarme como parte de su equipo, por brindarme la oportunidad de trabajar en sus instalaciones, por las buenas convivencias con todos, en especial a las chicas por las buenas pláticas: Martha Herrera e Itzel Ortega.*

*Al Ing. Enrique Méndez Martínez, por brindarme su conocimiento y apoyo durante la salida de campo.*

*A todos los que me acompañaron a mi salida de campo (Ing. Enrique Méndez, Ing. Francisco Garibay, Sr. Alfredo Re, Marla Macias, Mónica Vázquez y Moisés Chávez, al equipo del Sr. Chávelo, gracias por su paciencia y entusiasmo durante la recolección de muestras.*

*A la futura Dra. Evnika Zarina Medina, muchas gracias por brindarme tu conocimiento, por apoyarme con las herramientas para hacer el cultivo de lechuga.*

*Al equipo de trabajo del Dr. Thomas Gunter (Laboratorio de Hidrogeoquímica) por darme la oportunidad de aprender nuevas técnicas, en especial a MC Karina Espinoza por brindarme su conocimiento.*

*Al Laboratorio Agroambiental por su apoyo en el análisis de potasio en muestras. Gracias Emmanuel Burgoin.*

*A la Biól. Diana Jazmín Saucedo Velázquez, por apoyarme con el mapa satelital de la Isla San Jerónimo.*

*A toda la generación, un gusto conocerlos, gracias por los buenos ratos!!*

*Gracias a todos y cada una de las personas que me dieron una palabra de aliento durante este proyecto.*

# Tabla de Contenido

---

	Página
<b>Resumen español</b> .....	ii
<b>Resumen inglés</b> .....	iii
<b>Dedicatorias</b> .....	iv
<b>Agradecimientos</b> .....	v
<b>Lista de figuras</b> .....	ix
<b>Lista de tablas</b> .....	xv
<b>1. Introducción</b>	
1.1. Introducción.....	1
1.1.1. La agricultura y sus necesidades.....	1
1.1.2. Fertilizantes.....	2
1.1.3. Nuevas alternativas.....	4
1.1.4. Alternativa de origen natural “Guano”.....	4
1.1.5. Origen del guano comercial.....	5
1.1.6. Bondades del guano.....	6
1.1.7. Isla San Jerónimo.....	6
1.1.8. Aves y mamíferos marinos productores de guano.....	7
1.1.8. Importancia.....	8
1.2. Antecedentes.....	9
1.3. Hipótesis.....	12
1.4. Objetivo General.....	13
1.4.1. Objetivos particulares.....	13
<b>2. Metodología</b>	
2.1. Área de estudio.....	14
2.2. Recolección de muestras.....	15
2.3. Fauna asociada.....	17
2.4. Caracterización del material recolectado.....	17
2.4.1. Homogenización de muestra mediante cuarteo.....	18
2.4.2. Secado.....	18
2.4.3. Tamizado.....	19
2.4.4. Humedad.....	19
2.4.5. Cenizas.....	19
2.4.6. Peso seco.....	20
2.4.7. Materia orgánica.....	20
2.4.8. Potencial de hidrógeno (pH).....	20
2.4.9. Nitrógeno total (NT).....	20
2.5. Diseño experimental.....	21
2.5.1. Método para solubilizar el guano de aves marinas.....	22
2.5.2. Caracterización quím. de las fracciones ac/alc del guano..	23
2.5.2.1. Sedimentos: solubles e insolubles.....	23
2.5.2.2. Sólidos suspendidos totales (SST).....	24
2.5.2.3. Nitrógeno total (N).....	24
2.5.2.4. Fósforo total (P).....	24

2.5.2.5. Fósforo oxidado (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ).....	25
2.5.2.6. Fosfatos (PO <sub>4</sub> ).....	26
2.5.2.7. Potasio (K) y óxido de potasio (K <sub>2</sub> O).....	26
2.6. Análisis microbiológico.....	26
2.7. Análisis estadístico.....	26
2.8. Preparación de extractos de guano para pruebas en campo...	28
2.9. Aplicación del extracto de guano.....	30
<b>3. Resultados</b>	
3.1. Área de muestreo.....	32
3.1.1. Avistamiento.....	32
3.1.2. Muestreo de la Isla San Jerónimo.....	34
3.2. Caracterización del material recolectado.....	34
3.2.1. Tamizado.....	38
3.2.2. Humedad y cenizas.....	39
3.2.3. Potencial de hidrógeno (pH).....	41
3.3. Método para solubilizar el guano de aves marinas.....	41
3.3.1. % Solubles e insolubles.....	45
3.3.2. Sólidos suspendidos totales (SST).....	46
3.4. Caracterización química del guano líquido.....	47
3.4.1. Nitrógeno total (N).....	47
3.4.2. Fósforo total (P), fósforo oxidado (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) y fosfatos (PO <sub>4</sub> )..	48
3.4.3. Potasio (K) y óxido de potasio (K <sub>2</sub> O).....	50
3.5. Caracterización de cenizas.....	51
3.6. Preparación de extracto de guano para pruebas de campo.....	53
3.7. Pruebas en campo aplicando el extracto de guano.....	54
3.7.1. Germinación de semillas y crecimiento de plántulas.....	54
3.7.2. Caracterización morfológica de lechugas cultivadas.....	59
3.7.2.1. Número de hojas.....	62
3.7.2.2. Ancho y largo de hojas.....	63
3.7.2.3. Radio de follaje.....	65
3.8. Análisis microbiológico en extracto de guano.....	66
<b>4. Discusión</b>	68
<b>5. Conclusiones</b>	79
5.1. Recomendaciones.....	81
<b>Lista de referencias bibliográficas</b> .....	82
<b>Anexos</b>	
1. <i>Método Micro Kjeldahl (Abadia et a., 1973, AOAC, 1984)</i> .....	90
2. <i>Método azul de molibdeno (AOAC, 1984)</i> .....	91
3. <i>Método amarillo de molibdovanadofosfato (AOAC, 1984)</i> .....	92
4. <i>Resultados de análisis preliminares</i> .....	93
5. <i>Concentraciones promedio de nutrientes analizados</i> .....	95
6. <i>Análisis estadísticos</i> .....	96

## Lista de figuras

---

Figura		Página
1	Composición elemental promedio de las plantas (FAO, 2002, Gavi-Reyes, 2007).....	3
2	Isla San Jerónimo, se localiza en el Océano Pacífico, al oeste de la península de Baja California (Lat 29° 47' 32.96" N, Long 115° 47' 29.78" O).....	14
3	Zonas delimitadas para la toma de muestras de guano de aves marinas de la Isla San Jerónimo, Baja California. Se muestran las zonas de muestreo (B, C, D, E, F, G, H).....	16
4	Procedimiento utilizado para la homogenización y cuarteo de muestras.....	18
5	Muestras recolectadas en diferentes zonas de la Isla San Jerónimo, Baja California.....	18
6	Muestra de guano de la Isla San Jerónimo, Baja California, después de ser tamizada.....	19
7	Esquema del diseño experimental para las muestras de guano recolectado en la Isla San Jerónimo, Baja California.....	21
8	Esquema del diseño experimental para la cuantificación del material disuelto en muestras de guano sólido.....	22
9	Diagrama de flujo de la metodología utilizada para la extracción de nutrientes en guano de aves marinas.....	22
10	Diagrama de flujo de la metodología utilizada para solubilizar los nutrientes del guano joven y fósil en una prueba piloto utilizando reactivos amigables con el ambiente. Cubetas de 20 L.....	29
11	En el esquema se muestra como se sembraron las dos especies de semillas de lechuga en los almácigos, además de los tratamientos que se aplicaron a cada uno de ellos.....	30
12	El esquema muestra el acomodo de las plantas de lechuga después del trasplante en una tarima de madera. Además de los tratamientos que se le dieron a cada carril. Color verde (Escarola verde) y rosa (Lollo rosso).....	31

13	Población de pelicanos pardos ( <i>Pelecanus occidentalis</i> ) observados en la Isla San Jerónimo, Baja California.....	32
14	Población de cormoranes ( <i>Phalacrocorax penicillatus</i> ) observados en la Isla San Jerónimo, Baja California.....	33
15	Población de elefantes marinos del norte ( <i>Mirounga angustirostris</i> ) destetados de un año aproximadamente, habitantes comunes en la Isla San Jerónimo, Baja California (Arias <i>et al.</i> , 2016).....	33
16	Tipos de guano encontrados en la Isla San Jerónimo, Baja California.....	36
17	Porcentajes promedio obtenidos en las dos fracciones de sedimento pasadas por el tamiz de 32 mesh por zona de estudio en la Isla San Jerónimo de Baja California.....	38
18	Peso seco (a) y humedad (b) calculado para las diferentes zonas de muestreo en la Isla San Jerónimo. El área sombreada (caja) representa la distribución de los datos, la línea en medio de la caja representa la mediana, mientras que las líneas verticales (bigotes) representan el valor máximo y el mínimo. La prueba Kruskal-Wallis, $H=77.913$ , $g.l.=7$ , $P<0.001$ muestra que las medianas de las zonas son significativamente diferentes. Los símbolos  muestran el intervalo de confianza del 95%. (n= 31).....	39
19	Cenizas (a) y materia orgánica (b) calculadas para las diferentes zonas de muestreo en la Isla San Jerónimo. El área sombreada (caja) representa la distribución de los datos, la línea en medio de la caja representa la mediana, mientras que las líneas verticales (bigotes) representan el valor máximo y el mínimo. La prueba Kruskal-Wallis, $H=313.040$ , $g.l.=7$ , $P<0.001$ muestra que las medianas de las zonas son significativamente diferentes. Los símbolos  muestran el intervalo de confianza del 95%. (n= 93).....	40
20	Comportamiento del pH del guano recolectado en las diferentes zonas de muestreo de la Isla San Jerónimo. El área sombreada (caja) representa la distribución de los datos, la línea en medio de la caja representa la mediana, mientras que las líneas verticales (bigotes) representan el valor máximo y el mínimo. La prueba Kruskal-Wallis, $H=57.001$ , $g.l.=7$ , $P<0.001$ muestra que las medianas de las zonas son significativamente diferentes. Los símbolos  muestran el intervalo de confianza del 95%. (n= 32)....	41
21	Determinación de nitrógeno total solubilizado con tres extracciones sucesivas (acumulativo), utilizando diferentes solventes sobre el guano de aves marinas de la Isla San Jerónimo.....	42

22	Determinación de fósforo total solubilizado con tres extracciones sucesivas (acumulativo), utilizando diferentes solventes sobre el guano de aves marinas de la Isla San Jerónimo.....	42
23	Diagrama de flujo de la metodología de extracción de nutrientes en guano fresco, joven y fósil de la Isla San Jerónimo.....	43
24	Extractos solubles obtenidos de la lixiviación ácida y alcalina de cada muestra de guano de las zonas de trabajo de la Isla San Jerónimo.....	44
25	Guano total solubilizado con los dos tratamientos (ácido y alcalino) correspondiente a las diferentes zonas de muestreo de la Isla San Jerónimo. El área sombreada (caja) representa la distribución de los datos, la línea en medio de la caja representa la mediana, mientras que las líneas verticales (bigotes) representan el valor máximo y el mínimo del material solubilizado. La prueba Kruskal-Wallis, $H=104.806$ , $g.l.=7$ , $P<0.001$ muestra que las medianas de las zonas son significativamente diferentes. Los símbolos  muestran el intervalo de confianza del 95%. (n= 93).....	45
26	Sólidos suspendidos totales en los extractos de guano de las diferentes zonas de muestreo de la Isla San Jerónimo. El área sombreada (caja) representa la distribución de los datos, la línea en medio de la caja representa la mediana, mientras que las líneas verticales (bigotes) representan el valor máximo y el mínimo de SST obtenidos con los dos tratamientos (ácido y álcali). La prueba Kruskal-Wallis, $H=310.265$ , $g.l.=7$ , $P<0.001$ muestra que las medianas de las zonas son significativamente diferentes. Los símbolos  muestran el intervalo de confianza del 95%. (n= 93)....	46
27	Nitrógeno total en los extractos de guano de las diferentes zonas de muestreo en la Isla San Jerónimo. El área sombreada (caja) representa la distribución de los datos, la línea en medio de la caja representa la mediana, mientras que las líneas verticales (bigotes) representan el valor máximo y el mínimo de N obtenidos con los dos tratamientos (ácido y álcali). La prueba Kruskal-Wallis, $H=111.365$ , $g.l.=7$ , $P<0.001$ muestra que las medianas de las zonas son significativamente diferentes. Los símbolos  muestran el intervalo de confianza del 95%. (n= 18).....	47
28	Nitrógeno total en guano sólido y extracto de guano de las diferentes zonas de muestreo en la Isla San Jerónimo. Los símbolos representan las concentraciones promedio de nitrógeno por zona, mientras que las líneas verticales (bigotes) representan el error estándar de la media. La prueba U de Mann-Whitney, $U=26$ , $T= 62$ , $g.l.=8$ , $P=0.574$ muestra que el guano sólido y el extracto de guano No son significativamente diferentes. (n=18).....	48

29	Fósforo total en los extractos de guano de las diferentes zonas de muestreo en la Isla San Jerónimo. El área sombreada (caja) representa la distribución de los datos, la línea en medio de la caja representa la mediana, mientras que las líneas verticales (bigotes) representan el valor máximo y el mínimo de P obtenidos con los dos tratamientos (ácido y álcali). La prueba Kruskal-Wallis, $H=323.587$ , g.l.=7, $P<0.001$ muestra que las medianas de las zonas son significativamente diferentes. Los símbolos  muestran el intervalo de confianza del 95%. (N=93).....	49
30	Porcentaje promedio de material solubilizado en muestras de guano y cenizas de guano después de aplicar el método de extracción acida y alcalina con su error estándar de la media. El análisis se hizo con 3 muestras al azar de cada zona con sus tres réplicas.....	51
31	Concentración de fósforo total promedio en muestras de guano y cenizas de guano después de aplicar el método de extracción ácida y alcalina con su error estándar de la media. La estadística de U Mann-Whitney, $U= 31$ , $T = 67$ , g.l.= 8 $P= 0.959$ , nos dice que no son significativamente diferentes. El análisis se hizo con 3 muestras al azar de cada zona con sus tres réplicas.....	52
32	Lixiviado con $CH_2COOH$ y $KOH$ . Cubetas 1 (alcalino) y 2 (ácido) guano joven. Cubetas 3 (alcalino) y 4 (ácido) guano fósil.....	53
33	Lixiviado con $C_6H_8O_7$ y $KOH$ . Cubetas 1 (alcalino) y 2(ácido) guano fósil. Cubetas 3 (alcalino) y 4 (ácido) guano joven.....	53
34	Desarrollo de semillas de lechugas (Escarola verde y Lollo rosso) desde su germinación hasta el día del trasplante (36 días). a) Germinación, b) Plántulas con dos hojas, c) Plántulas con cuatro hojas, d) Plántulas con hojas verdaderas, e) Plantas con seis hojas verdaderas, f) Plantas entre 6 y 10 cm de largo, día del trasplante...	55
35	Crecimiento de plantas de lechugas (Escarola verde y Lollo rosso) después del trasplante, 15 días. g) Inicio de siembra, h) Plantas con hojas de 3 a 5 cm, i) Plantas con hojas de 5 a 7 cm, j) Plantas con hojas de 7 a 10 cm con un retoño, k) Plantas con 2 retoños y hojas de 8 a 12 cm, l) Plantas con hojas10 a 12 cm.....	56
36	Crecimiento de lechugas (Escarola verde y Lollo rosso) después de 30 días de la siembra. m) Follaje de 10-15 cm de radio, n) Follaje de 15-20cm de radio, o) Follaje de 20-25 cm de radio, p) Desgajo de 4 lechuga por especie, q) Follaje de 25-30 cm de radio, r) Follaje de 30 a 35 cm de radio.....	57

37	Demostración del efecto positivo al agregar extracto de guano en cultivo de lechugas (Escarola verde y Lollo rosso) después de 60 días de la siembra. Imagen superior: Último día de toma de fotos. Imagen inferior: Otro ángulo con acercamiento.....	58
38	Plántulas de lechugas (Escarola verde y Lollo rosso). Mayor crecimiento radicular en lechugas regadas con guano y guano + algas. Las lechugas regadas con mayor concentración (4 mL) presentan mayor crecimiento en follaje en comparación con los otros tratamientos.....	60
39	Lavado de raíz de lechugas (Escarola verde (superior) y Lollo rosso (inferior)) realizado 30 días después del trasplante. De izquierda a derecha se encuentra a) testigo, b) guano 2mL, c) guano 4mL, d) guano + algas 2mL y e) guano + algas 4mL.....	61
40	Conteo de número de hojas. Figura superior; Escarola verde, la prueba Kruskal-Wallis, $H=14.606$ , $g.l.=4$ , $P=0.006$ muestra que las medianas de los tratamientos son significativamente diferentes. Figura inferior; Lollo rosso, la prueba Kruskal-Wallis, $H=6.022$ , $g.l.=4$ , $P=0.197$ muestra que las medianas de los tratamientos no son significativamente diferentes, el aumento de número de hojas es igual con todos los tratamiento.....	62
41	Largo de hoja. Figura superior; Escarola verde, la prueba Kruskal-Wallis, $H=1.359$ , $g.l.=4$ , $P=0.851$ muestra que las medianas de los tratamientos no son significativamente diferentes. Figura inferior; Lollo rosso, la prueba Kruskal-Wallis, $H=4.664$ , $g.l.=4$ , $P=0.324$ muestra que las medianas de los tratamientos no son significativamente diferentes en el largo de las hojas.....	63
42	Ancho de hoja. Figura superior; Escarola verde, la prueba Kruskal-Wallis, $H=2.082$ , $g.l.=4$ , $P=0.721$ muestra que las medianas de los tratamientos no son significativamente diferentes. Figura inferior; Lollo rosso, la prueba Kruskal-Wallis, $H=1.155$ , $g.l.=4$ , $P=0.886$ muestra que las medianas de los tratamientos no son significativamente diferentes en el ancho de las hojas.....	64
43	Radio de follaje. Figura superior; Escarola verde, la prueba Kruskal-Wallis, $H=6.295$ , $g.l.=4$ , $P=0.178$ muestra que las medianas de los tratamientos no son significativamente diferentes. Figura inferior; Lollo rosso, la prueba Kruskal-Wallis, $H=1.451$ , $g.l.=4$ , $P=0.835$ muestra que las medianas de los tratamientos no son significativamente diferentes en el radio de la fronda.....	65
44	Reporte de análisis bacteriológico realizado al extracto de guano que se utilizó en el ensayo de producción de lechugas.....	66

45	Figura 45: Reporte de análisis bacteriológico realizado en muestras de lechugas (Escarola verde), regadas con extracto de guano.....	67
46	Biogénesis de guano de aves y mamíferos marinos.....	70
47	Clasificación de guano de la Isla San Jerónimo, representando sus características químicas y los procesos que intervienen en su biogénesis.....	75
48	Curva de calibración para la determinación de fósforo total (P) con el método azul de molibdeno (AOAC, 1984).....	91
49	Curva de calibración para la determinación de fósforo oxidado ( $P_2O_5$ ) con el método metavanadofosfato (AOAC, 1984).....	92
50	Curva de calibración para la determinación de fosfatos ( $PO_4$ ) con el método azul de molibdeno (AOAC, 1984).....	92
51	Porcentaje de nitrógeno solubilizado en guano de aves marinas, utilizando $H_2SO_4$ como solvente a diferentes normalidades.....	93
52	Porcentaje de fósforo solubilizado en guano de aves marinas, utilizando $H_2SO_4$ como solvente a diferentes normalidades.....	93
53	Contenido de nitrógeno en muestras de sedimento de guano fresco, joven y fósil de la Isla San Jerónimo.....	94
54	Porcentaje de nitrógeno solubilizado utilizando una extracción ácida ( $H_2SO_4$ ) en muestras de sedimento de guano fresco, joven y fósil de la Isla San Jerónimo.....	94

## Lista de tablas

---

Tabla		Página
1	Listado de aves marinas y mamíferos marinos que se encuentran en la Isla San Jerónimo, Baja California, México (CONANP, 2005; Samaniego-Herrera <i>et al.</i> , 2007; Méndez-Martínez, 2008; Arias <i>et al.</i> , 2016).....	8
2	Calendario de actividades y de aplicación de extractos en el cultivo de lechuga en condiciones relativamente controladas..	31
3	Ubicación aproximada de las zonas de estudio en la Isla San Jerónimo, Baja California. Área de polígonos donde se trabajó y el número de muestras por zona.....	34
4	Descripción del material recolectado en cada zona de la Isla San Jerónimo.....	37
5	Concentración en % de fósforo total (P), oxido de fósforo ( $P_2O_5$ ) y fosfatos ( $PO_4$ ) en los extractos de guano de las diferentes zonas de muestreo en la Isla San Jerónimo con su error estándar.....	50
6	Determinación de potasio (K) y oxido de potasio ( $K_2O$ ) en muestra tratadas con ácido y álcali de las Isla San Jerónimo....	50
7	Concentración de nitrógeno en guano sólido inicial y en los extractos de guano trabajados con ácido y álcali.....	54
8	Control de supervivencia de plántulas de lechuga durante 36 días de tratamiento con las mezclas 1 (Guano joven y fósil) y 2 (Guano + Algas).....	54
9	Balance entre el peso con respecto a fronda y raíz en muestras de lechugas Escarola verde y Lollo rosso fertilizadas con dos mezclas: 1) Guano y 2) Guano + Algas....	59
10	Caracterización química de muestras de guano de aves marinas de la Isla San Jerónimo.....	72
11	Concentrado con valores promedio para cada zona de estudio por cada parámetro analizado.....	95

# 1. Introducción

---

## 1.1. Introducción

### 1.1.1. La agricultura y sus necesidades

De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el comportamiento de la agricultura a nivel mundial se ha ido adaptando al rápido aumento poblacional, así como al cambio en los hábitos alimenticios de la población que han ocurrido con el paso del tiempo. Así mismo, la FAO menciona que en la actualidad las tasas de crecimiento de la producción agropecuaria mundial y los rendimientos de los cultivos han disminuido (FAO, 2002; Hamuda and Patkó, 2010). Lo que causa temor de que el planeta no sea capaz de incrementar la producción de alimentos lo suficiente para asegurar una alimentación adecuada para la población futura (FAO, 2002; Walls, 2006). En consecuencia, la agricultura moderna se ha desarrollado en función de la necesidad de abastecer a la población mundial, que demanda verduras, frutas y cereales durante todo el año (Walls, 2006; Hamuda and Patkó, 2010).

En su desarrollo, la agricultura moderna ha requerido incorporar avances tecnológicos importantes; desde la manipulación de factores abióticos como la temperatura, humedad, captación de luz, sistemas de cultivo y sustrato de siembra; hasta mejorar las variedades de plantas que se cultivan, ya sea por selección natural (y/o modificación genética) (Rodríguez, Sultan and Hilliker, 2004; Walls, 2006; Hamuda and Patkó, 2010). Gracias a la manipulación de estos factores los productores tienen mayor oportunidad de adaptar las plantas a las condiciones ambientales, mejorando las cosechas del futuro.

Otros avances importantes, son acerca de la nutrición y el control de plagas en los cultivos; anteriormente los suelos empleados en cultivos no intensivos, podían autorregular sus mecanismos de control natural, así como regenerar su reserva de nutrientes mediante procesos naturales (ciclos químicos) (Rodríguez *et al.*, 2004; Walls, 2006; Weindorf, Muir and Landeros-Sánchez, 2011; Hamuda and Patkó, 2010; Altieri, 2009); sin embargo, a medida que el uso de los suelos se intensifica durante periodos

largos de producción, los suelos se empobrecen de nutrientes, disminuyendo su productividad y en consecuencia se dificulta la auto regulación y regeneración de nutrientes de forma natural; de acuerdo a lo anterior y en el afán de mantener una buena producción agrícola, los agricultores han tenido que apoyarse con el uso de fertilizantes y plaguicidas, tanto de origen natural como químico (FAO, 2002, Sumner, 2000; Rodríguez, *et al.*, 2004; Walls, 2006; Altieri, 2009).

### **1.1.2. Fertilizantes**

Los fertilizantes son sustancias o productos químicos que promueven el crecimiento de las plantas, ya que proveen a los suelos los nutrientes necesarios para satisfacer los requerimientos para un crecimiento óptimo de las plantas (FAO, 2002; Gavi-Reyes, 2007). Como se mencionó anteriormente, para mejorar la productividad de las tierras, el agricultor moderno se ve en la necesidad de utilizar fertilizantes (Rodríguez, *et al.*, 2004; Walls, 2006). Sin embargo, la calidad y cantidad de los nutrientes que requieren los suelos estarán en función del cultivo en que se aplique, ya que cada cultivo tiene requerimientos específicos, lo que marca la diferencia en la eficiencia de los fertilizantes (Gavi-Reyes, 2007).

En general, las plantas para su desarrollo requieren de 16 elementos esenciales, los cuales se dividen en macronutrientes (C, H, O, N, P, S, K, Ca, y Mg) y micronutrientes (Fe, Mn, Cu, Mo, B, Zn, Cl) (Figura 1) (FAO, 2002; Gavi-Reyes, 2007; Osman, 2013). Los macronutrientes, nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) son los elementos que se necesitan en cantidades mayores, ya que son esenciales en el crecimiento de las plantas; en comparación los micronutrientes son utilizados con reserva para casos específicos que las plantas lo requieran (Osman, 2013). Actualmente el uso continuo de fertilizantes, se debe a que la mayoría de los suelos agrícolas presentan deficiencias por el constante uso durante periodos largos de producción (FAO, 2002).

Los fertilizantes son considerados como una herramienta para aumentar la producción de los cultivos agrícolas, sin embargo, antes de ser usados se deben considerar sus características, principalmente por sus efectos en el suelo, tales como la presión osmótica (índice salino), el pH (índice de acidez), así como el ión acompañante en las sales (Gavi-Reyes, 2007). Algunos ejemplos de fertilizantes con índice ácido son el

amoníaco anhidro, el sulfato de amonio y el superfosfato triple. Otros como el nitrato de sodio, nitrato de potasio, sulfato de potasio son de índice básico (FAO, 2002; Gavi-Reyes, 2007).

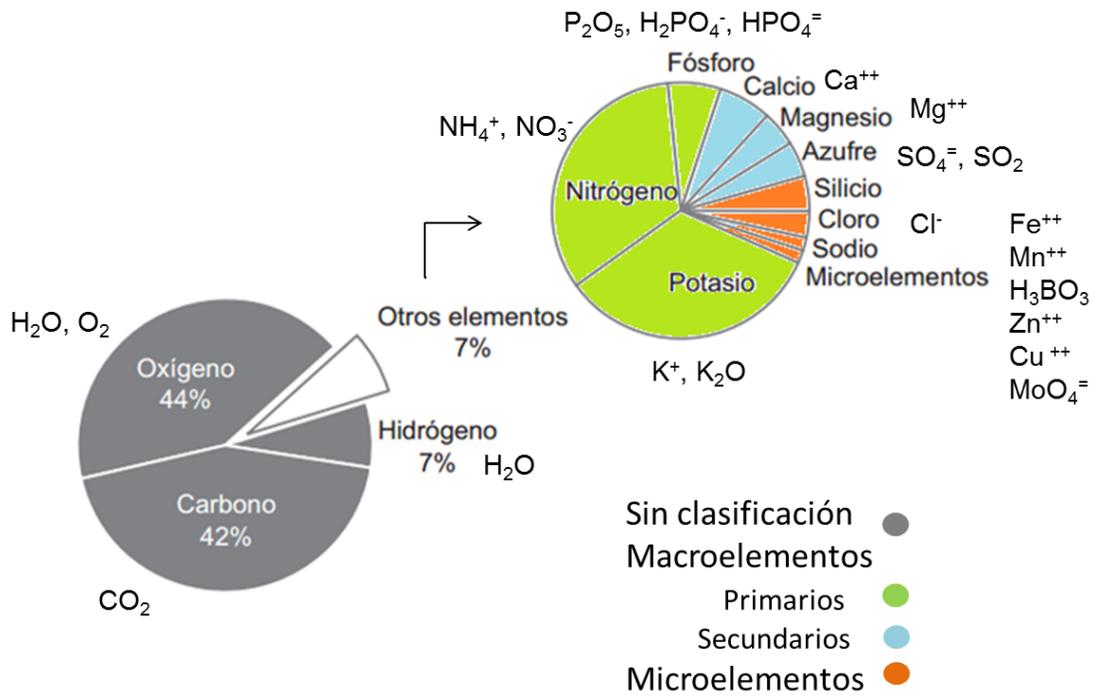


Figura 1. Composición elemental promedio de las plantas (FAO, 2002, Gavi-Reyes, 2007).

De acuerdo a la FAO (2002), en la agricultura es también importante considerar las características de los suelos donde se aplican los fertilizantes, ya que si no existe un control en su uso, pueden causar efectos negativos en los suelos agrícolas, que se reflejan en el ambiente y la economía (Hamuda and Patkó, 2010). Algunos de los efectos negativos que se han visto por el uso continuo de fertilizantes son entre otros, la erosión de las tierras, infertilidad, salinización y alcalinización de los suelos, emisión de contaminantes al aire y filtración a los mantos acuíferos, contaminación química por metales pesados al suelo, pérdida de biodiversidad y hábitats, mayor susceptibilidad de las plantas a la incidencia de plagas y enfermedades (FAO, 2002; Rodríguez *et al.*, 2004; Walls, 2006; Gavi-Reyes, 2007; Hamuda and Patkó, 2010; Altieri, 2009).

### 1.1.3. Nuevas alternativas

Debido al uso excesivo de fertilizantes sintéticos en suelos agrícolas y con el propósito de mitigar sus efectos negativos, actualmente se recurre cada vez más al uso de productos de origen natural, tales como los abonos a base de excrementos de vaca, cerdo, pollo, murciélagos, aves marinas y desperdicios vegetales (Gavi-Reyes, 2007; Trinidad-Santos, 2007). Todas éstas son fuentes de nutrientes, los cuales en su mayoría se encuentran en forma orgánica, es decir, no disponibles para las plantas; por tanto, deben convertirse en materia inorgánica para que los nutrientes se encuentren disponibles para su asimilación por las plantas (FAO, 2002; Posmanik, Sinay, Golan, Nejidat and Gross, 2011; Weindorf *et al.*, 2011). Es necesario que antes de su aplicación al suelo, pasen por un proceso de descomposición que implica la ayuda de bacterias, hongos y levaduras (FAO, 2002; Álvarez-Solís y Anzueto-Martínez, 2004; Uribe, Kristal and Uribe, 2013).

Algunos métodos para la producción de fertilizantes de origen natural utilizan el compostaje y el vermi-compostaje, los cuales son procesos aeróbicos que transforman la materia orgánica, bajo la acción de lombrices, bacterias y hongos descomponedores (Uribe *et al.*, 2013). También se han utilizado los lixiviados, producto de la fermentación de la materia orgánica y la hidrólisis, que es la disociación del agua con los iones provenientes de ácidos y bases durante la descomposición de la materia orgánica (Flores, Sahelices y Moreira, 2008).

Estas fuentes de nutrientes alternas o fertilizantes de origen natural, se caracterizan por tener además de un alto contenido de materia orgánica, los nutrientes esenciales que las plantas requieren durante el desarrollo de los cultivos (N, P y K) (Gavi-Reyes, 2007; Trinidad-Santos, 2007). Además, los fertilizantes de origen natural tienen la característica de mejorar las condiciones del suelo, reduciendo la erosión de las tierras al incrementar la microbiota, regulando la temperatura del suelo y con ello se promueve la retención de humedad (FAO, 2002; Trinidad-Santos, 2007; Uribe *et al.*, 2013).

### 1.1.4. Alternativa de origen natural: “Guano”

El Guano, palabra de origen Quechua (Cushman, 2013), también conocido como oro blanco, es un abono de origen natural que ha existido y se ha utilizado como fertilizante

desde hace varios siglos. El guano se define como el producto de las excretas de animales que se encuentran acumuladas en grandes cantidades; se distingue por tener dos orígenes, el primero, es producido por desechos de murciélagos en cuevas y el segundo es generado por los desechos de las aves marinas. Este último es depositado en las superficies de Islas y puntas de la zona costera, esto ocurre principalmente en latitudes subtropicales con clima seco, donde son frecuentes las sequías y la evaporación supera la precipitación (Utor, 1875; Raimondi, 1926; Cancino, 1960; Hadas and Rosenberg, 1992; Duffy, 1994; Liu, *et al.*, 2006; Clark y Foster, 2012; Szpak, Millaire, White and Longstaffe, 2012; Cushman, 2013).

El guano de aves marinas de las localidades costeras está formado principalmente por la acumulación de deyecciones, cascarones de huevo, organismos muertos y desperdicios (Utor, 1875; Raimondi, 1926; Cancino, 1960; Hadas y Rosenberg, 1992; Duffy, 1994; Liu, *et al.*, 2006; Ellis, Fariña and Witman, 2006; Clark y Foster, 2012; Szpak, *et al.*, 2012; Cushman, 2005; Cushman, 2013). Su valor como materia prima para su uso como abono natural, se debe a su alta concentración de N y P, dos de los elementos químicos básicos para el metabolismo de las plantas, además de muchos otros elementos nutritivos, que lo convierten en el fertilizante orgánico más completo (Utor, 1875; Cancino, 1960; Hadas y Rosenberg, 1992; Duffy, 1994; Liu, *et al.*, 2006; Clark y Foster, 2012; Szpak, *et al.*, 2012; Cushman, 2005; Cushman, 2013).

### **1.1.5 Origen del guano comercial**

En 1840 comenzó la explotación comercial del guano para su uso como fertilizante en el Perú, y otras partes del mundo (Clark y Foster, 2009; Ceroni-Galoso, 2012). Desde entonces, Perú tenía los reservorios más importantes de guano de alta calidad, lo que ocasionó competencia en su adquisición, provocando una guerra entre naciones sudamericanas (Duffy, 1994; Clark y Foster, 2009; Ceroni-Galoso, 2012; Cushman, 2005; Cushman 2013). Desde 1840 hasta 1870, el guano de Islas jugó un papel trascendental en la economía peruana.

En 1909, año en que se fundó la *Compañía Administradora del Guano*, hasta su colapso económico en 1956-57 por la expansión de la industria de harina de anchoveta, y posteriormente la llegada del fenómeno natural de El Niño en 1960, provocó un

declive en la producción primaria de la corriente de Humboldt que afectó las colonias de aves guaneras, disminuyendo los bancos de guano. Sin embargo, desde inicios del siglo XX, el guano sigue fungiendo como el principal fertilizante para la agricultura peruana (Duffy, 1994, Clark y Foster, 2009; Ceroni-Galoso, 2012; Cushman, 2005; Cushman 2013).

#### **1.1.6. Bondades del guano**

Desde el siglo XVI hasta la actualidad el guano ha sido utilizado con gran éxito por los agricultores (Utor, 1875, Cancino, 1960; FAO, 2002; Agro Rural Perú, 2009; Ceroni-Galoso, 2012), sin embargo, existe incertidumbre de las bondades de este abono natural, ya que existen pocos estudios donde hablen de los efectos que se tiene en la agricultura.

De acuerdo al Programa de Desarrollo Productivo Agrario Rural de Perú (Agro Rural) en una descripción del guano de aves marinas, consideran el guano con las siguientes características: a) alta solubilidad en agua, b) fácil de asimilar por las plantas, c) mejorador de las condiciones físico-químicas y microbiológicas del suelo, d) propiedades de sinergia con otros compuestos orgánicos y e) es un producto amigable con el ambiente (FAO, 2002; Agro Rural Perú, 2009). De acuerdo a las características antes mencionadas, el guano en Perú sigue siendo una fuente de materia prima para la agricultura.

#### **1.1.7. Isla San Jerónimo**

Las Islas de Baja California son sitios de gran importancia para la conservación de la biodiversidad, ya que constituyen hábitats importantes para la alimentación y reproducción de muchas especies migratorias y se caracterizan por ser áreas de crianza y refugio para diferentes especies (aves marinas, mamíferos marinos y reptiles, entre otras). Son áreas donde algunas de las especies que las habitan son únicas para cada Isla y no existen en ningún otro lugar del mundo (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2005; Samaniego-Herrera, Peralta-García y Aguirre-Muñoz, 2007). Otra característica importante, es la riqueza de las aguas adyacentes a las Islas de la región. Gracias al aporte de nutrientes de la corriente de California las aguas tiene una alta productividad biológica, la cual permite la abundancia de recursos pesqueros

como la sardina, anchoveta, macarelas, calamares etc. (Ainley *et al.*, 2005; Samaniego-Herrera *et al.*, 2007).

La Isla San Jerónimo está ubicada en la parte central de la costa occidental de Baja California, México, dentro de la Bahía del Rosario. Es considerada como zona de refugio, reproducción y anidación para 12 especies de aves marinas y 2 especies de mamíferos marinos que habitan la Isla de forma permanente o temporal (Samaniego-Herrera *et al.*, 2007). Al haber alimento abundante en esta región durante ciertas épocas del año, las aves y mamíferos marinos tienen la oportunidad de encontrar alimento en las cercanías de la Isla, que les permite formar grandes aglomeraciones temporales de aves marinas que anidan y se aparean en ellas (Hernández-Vázquez *et al.*, 2011) (Tabla 1).

#### **1.1.8. Aves y mamíferos marinos productores de guano**

En el Perú de acuerdo a Mann (1955); Duffy (1994), Jahncke y Goya (1998); Szpak, *et al.* (2012), las principales aves guaneras son *Phalacrocorax bouganvillii*, *Sula variegata* y *Pelecanus thagus*. Y en la Isla San Jerónimo las aves que se encuentran con mayor frecuencia son *Larus occidentalis*, *Pelecanus occidentalis*, *Phalacrocorax auritus*, *Phalacrocorax penicillatus* y *Ptychoramphus aleuticus*, además de dos especies de mamíferos marinos; Focas comunes del pacífico (*Phoca vitulina richardii*), lobos marinos de California (*Zalophus californianus*) y elefantes marinos del norte (*Mirounga angustirostris*) (CONANP, 2005; Samaniego-Herrera *et al.*, 2007; Méndez-Martínez, 2008; Arias *et al.*, 2016). En comparación con las especies de aves que producen el guano en el Perú y las que se encuentran en las costas de Baja California, las especies son diferentes, pero las familias de algunas son las mismas, principalmente los cormoranes (*Phalacrocoracidae*) y pelícanos (*Pelecanidae*), las cuales se alimentan principalmente de especies de pelágicos menores (mesopelágicos) como la sardina y anchoveta, y algunos crustáceos o cefalópodos (Jahncke y Goya, 1998; Ainley *et al.*, 2005; Szpak, *et al.*, 2012).

Tabla 1. Listado de aves marinas y mamíferos marinos que se encuentran en la Isla San Jerónimo, Baja California, México (CONANP, 2005; Samaniego-Herrera *et al.*, 2007; Méndez-Martínez, 2008; Arias *et al.*, 2016).

Familia	Especie	Nombre común
Haematopodidae	<i>Haematopus palliatus</i>	Ostrero americano, ostrero blanquinegro
Haematopodidae	<i>Haematopus bachmani</i>	Ostrero negro
Laridae	<b><i>Larus occidentalis</i></b>	Gaviota occidental
Pelecanidae	<b><i>Pelecanus occidentalis</i></b>	Pelicano pardo
Phalacrocoracidae	<b><i>Phalacrocorax auritus</i></b>	Cormorán orejudo, cormorán de doble cresta, pato buzo
Phalacrocoracidae	<b><i>Phalacrocorax penicillatus</i></b>	Cormorán de Brandt, pato buzo
Alcidae	<b><i>Ptychoramphus aleuticus</i></b> *	Alcuela oscura, alcita oscura
Laridae	<i>Sterna antillarum</i> **	Golondrina marina menor, gallito marino
Laridae	<i>Sterna antillarum browni</i> ***	Golondrina de mar mínima café
Alcidae	<i>Synthliboramphus hypoleucus scrippsii</i>	Mérgulo de Xantus, alcita californiana de Xantus
Phocidae	<b><i>Phoca vitulina richardii</i></b> **	Foca común del Pacífico
Otariidae	<b><i>Zalophus californianus</i></b> **	Lobo marino de California
Phocidae	<b><i>Mirounga angustirostris</i></b>	Elefante marino del norte

\* Especie amenazada. \*\* Especie sujeta a protección especial. \*\*\* Especie endémica en peligro de extinción. **Negritas:** Especies de mayor abundancia en la Isla. (CONANP, 2005; Samaniego-Herrera *et al.*, 2007; Arias *et al.*, 2016).

Durante el tiempo de residencia de aves y mamíferos marinos en las Islas, hay una gran acumulación de desechos provenientes de las excretas y alimentos no consumidos, los cuales pasan por un proceso de intemperización. Debido al patrón de lluvias en la región, donde la evaporación supera la precipitación; los desechos y excretas de las aves y mamíferos marinos se han ido acumulando durante muchos años, logrando así tener depósitos importantes de guano en muchas de las Islas de la región (Wait, Aubrey and Anderson, 2005). Actualmente el guano se sigue utilizando como fertilizante, por tal motivo se pretende aprovechar el guano de aves marinas que se encuentra en la Isla San Jerónimo, para la obtención de un fertilizante líquido de origen natural.

### 1.1.8. Importancia

La importancia de producir un fertilizante de origen natural se debe a la necesidad de los agricultores por un producto, que satisfaga los requisitos, es decir, que sea amigable con el ambiente para que sus tierras no sean afectadas negativamente y

puedan regenerarse de forma natural y que sea eficiente a un costo accesible y competitivo.

De acuerdo a los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo Social 2014-2018 en el sector Agroalimentario, el gobierno mexicano pretende fomentar la innovación y el desarrollo tecnológico, mediante la adopción de tecnologías modernas que ayuden a reactivar el campo mexicano para elevar la productividad. Esto se debe a que los campos mexicanos tienen una alta vulnerabilidad a riesgos climáticos, sanitarios, y una elevada dependencia externa de insumos estratégicos como los fertilizantes, situación que afecta el abasto, la calidad y el acceso a los agroalimentos (Plan Nacional de Desarrollo Social, 2014). Tomando en cuenta las necesidades del país, este estudio está encaminado a la obtención de un fertilizante de origen natural que pueda contribuir con los objetivos del gobierno para mejorar la calidad de los campos agrícolas.

## **1.2. Antecedentes**

Desde antes del inicio de su explotación comercial en 1840, el guano peruano ya era considerado una fuente primaria para su uso como fertilizante, de acuerdo a Ceroni-Galoso (2012), el guano peruano sobresalía por su concentración de N, P, K, Mg y otros elementos en cantidades mayores a otros fertilizantes. Sin embargo, la concentración y composición de nutrientes esenciales para las plantas no fue estudiada sino hasta finales del siglo XVIII e inicios del XIX cuando se hicieron investigaciones sobre las bondades del guano.

Utor (1875), describe los primeros trabajos analíticos realizados por Fourcroy y Vauquelin en 1804, quienes determinaron la composición química de unas muestras de guano tomadas en las Islas de Chinchas del Perú por Alexander von Humboldt, las cuales resultaron con altas proporciones de nitrógeno y fósforo (Raimondi, 1926; Cancino, 1960; Clark y Foster, 2009; Ceroni-Galoso, 2012).

Años después en Europa, el químico Justus von Liebig le dio un giro a la investigación del guano, se dedicó a la síntesis química, utilizó el ácido sulfúrico diluido en guano donde observó el efecto producido, esto lo llevó a generar un nuevo procedimiento, transformando el guano bruto en un producto de una composición homogénea, con una riqueza fija en amoníaco y ácido fosfórico (Utor, 1875; Ceroni-Galoso, 2012). Este

avance en la ciencia dio bases para la producción de guanos comerciales que evitaban la volatilización de amoníaco al convertirlo en una sal fija y el poner el ácido fosfórico en un estado soluble (Utor, 1875). Durante ese tiempo el guano pasó de ser un producto natural a un producto artificial, que lo único que le faltaba era agregar sales de potasio y de magnesio, para así considerarlo un abono completo (Utor, 2875).

De acuerdo a la investigación de Utor (1875), los principales compuestos que contiene el guano de aves marinas son el ácido úrico, ácido oxálico, ácido fosfórico, pequeñas cantidades de sulfato de potasio y material terrígeno. Esta información fue corroborada 50 años después por Raimondi (1926), quien observó cristales de oxalato de amoníaco, carbonato de amoníaco, cloruro de amoníaco, sulfato de amoníaco, así como ácido úrico. Los resultados de las diferentes investigaciones realizadas al guano de Islas del Perú, aumentó el consumo de guano para su uso en la agricultura.

Años después de haberse fundado la Compañía Administradora de Guano en Perú, se inició una serie de investigaciones donde se enfocaron a documentar los efectos del guano en la agricultura. Corrales-Macedo (1955) y Calzada-Benza (1956), hicieron estudios en cultivos de tomate y papas, donde aplicaron diferentes dosis de guano. De acuerdo a los estudios anteriores y otros realizados en 1948-49, Calzada-Benza (1956), infirió el efecto del guano en la agricultura, donde menciona que el efecto va a depender del cultivo donde se aplique, así como la proporción de guano usada. Por lo que propone una dosis media de guano (806 Kg guano de 15% de N) para cultivos como la papa, caña, maíz, tomate; esto equivale a 121 Kg de N / Ha, deducción que obtuvo a partir de 113 experimentos previos.

Posteriormente Calzada-Benza (1959), hace una clasificación del guano de Islas de acuerdo a su composición; donde el guano rico es el que contiene 14.8% de N, 10.5%  $P_2O_5$ , 0.9%  $K_2O$ , 9% de cal, 0.7% de Mg y entre 35 a 45% de materia orgánica; mientras que el guano pobre es aquel que su contenido varía entre 1.5 a 3.5% de N y rico en  $P_2O_5$ . Dicha información llevó a Cancino (1960), a estudiar la parte orgánica del guano de las Islas, donde describe que el nitrógeno se encuentra en el guano en tres formas diferentes: amoniacal, nítrica y orgánica. Sin embargo, su estudio se enfoca en el ácido úrico, principal sustancia en el guano, para la obtención de productos de empleo en la industria orgánica y farmacéutica, más que en el área agrícola.

Dentro de la importancia química del guano, también resalta la parte microbiológica, ya que gracias a los microorganismos, el guano tiene su proceso de descomposición mediante la síntesis orgánica y la mineralización. Carmen-Cuba (1955) realizó un estudio exploratorio en muestras de guano de Islas, donde encontró colonias de bacterias aerobias fijadoras de nitrógeno atmosférico (Azotobacterias), gérmenes proteolíticos los cuales desintegran moléculas proteicas, y colonias de bacterias amonificantes que sintetizan compuestos nitrogenados a su forma amoniacal. Por otra parte, Cancino (1960) en su investigación menciona que en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos se realizó un estudio microbiológico en muestras de guano fresco y guano comercial, donde se encontraron colonias de *Azotobacter* y *Clostridium* (100% en guano comercial y 60% en fresco), *Micrococcus ureae*, bacterias nitrificantes y desnitrificantes. También encontraron enterobacterias patógenas como *Alcaligenes faecalis*, *Escherichia intermedia*, *Proteus vulgaris*, *proteus mirabilis*.

Recientemente se realizó un estudio para ver el efecto del guano en las colonias microbianas en los suelos subterráneos. Wright *et al.* (2010) trabajaron en la Isla de May en Firth of Forth al este de Escocia, encontrando que los aportes de nutrientes del guano tienen un impacto significativo en la composición de la comunidad microbiana.

En 1961, Jordán reafirma la relación fundamental que existe entre depredador y presa, haciendo mención de las aves guaneras y los peces pelágicos, así mismo, describe al guano como el último eslabón de la cadena alimenticia, como un recurso renovable, y especula que entre el 10 y 25% de este desecho fisiológico llegará de nuevo al mar para contribuir en la fertilización del agua y la producción del plancton, y que la otra parte se acumulará en la zona costera donde su descomposición será más lenta.

Entre las aves guaneras de mayor importancia se encuentra el Cormorán Guanay (*Phalacrocorax bouganvillii*), Piquero peruano (*Sula variegata*), pelicano café (*Pelecanus occidentalis*), y el pelicano peruano también llamado alcatraz (*Pelecanus thagus*), su principal fuente de alimento, es la anchoveta (*Engraulis ringens*) y sardina (*Sardinops ocellata*), peces pequeños ricos en nitrógeno (2.30%) y fósforo (1.70%) (Calzada-Benza, 1959). El aprovechamiento de dichos peces es de vital importancia para las aves guaneras ya que si no existe una abundancia por alguna alteración hidroclimática, ocasionaría una alteración en sus hábitos de vida, causando muertes masivas.

Principalmente en los cormoranes que tiene una dieta muy limitada, el 90% de su dieta se compone de anchoveta y el 4% de peces ocasionales, cefalópodos, crustáceos o algas (Jordán, 1961).

El desequilibrio que se presente en la relación depredador presa, tiende a una variabilidad en las abundancias relativas de las especies de aves guaneras (Jordán, 1961). Duffy (1994) hace mención que en los últimos siglos las especies guaneras han disminuido considerablemente, en aparente respuesta a la perturbación humana, explotación industrial del guano, la destrucción de hábitats, la competencia por la pesca comercial y por la administración política, mismos puntos que ya habían sido remarcados por Jordán en 1961. Finalmente se refleja en la disminución de guano, hasta el punto de ser más rápido el proceso de extracción que su renovación natural.

Actualmente en Perú existe el Programa Punta San Juan (o PPSJ, 2015), éste es un centro de investigación de campo que se dedica a la investigación de las poblaciones locales de organismos marinos silvestres que habitan en la reserva guanera PSJ, y está manejada por el Servicio de Áreas Naturales Protegidas del Perú (SERNANP). El programa se inició hace más de 25 años. Su trabajo consiste en dar asesoramiento técnico sobre la temporada, espacio y la forma en que se lleva a cabo la recolección de guano en PSJ así como proveer un número de observadores voluntarios designados para supervisar y acompañar a los trabajadores durante la campaña de extracción de guano a fin de minimizar las perturbaciones que podrían afectar negativamente a la fauna local (Cárdenas-Alayza, 2012; PPSJ, 2015).

### **1.3. Hipótesis**

Los depósitos de guano de aves marinas en la Isla San Jerónimo en el Pacífico de Baja California, podrán ser aprovechados para la elaboración de un fertilizante agrícola.

1. La composición química del guano de la Isla San Jerónimo, se podrá correlacionar con las distintas aves que la habitan y al tiempo transcurrido desde su depositación.
2. El guano de la Isla San Jerónimo tendrá los nutrientes necesarios nitrógeno total (NT), fósforo (P) y potasio (K) para que se pueda aprovechar como fertilizante agrícola.

## **1.4. Objetivo general**

Evaluar la factibilidad de aprovechar el guano de aves marinas, de la Isla San Jerónimo del Pacífico de Baja California, para la obtención de un fertilizante para su uso en la agricultura.

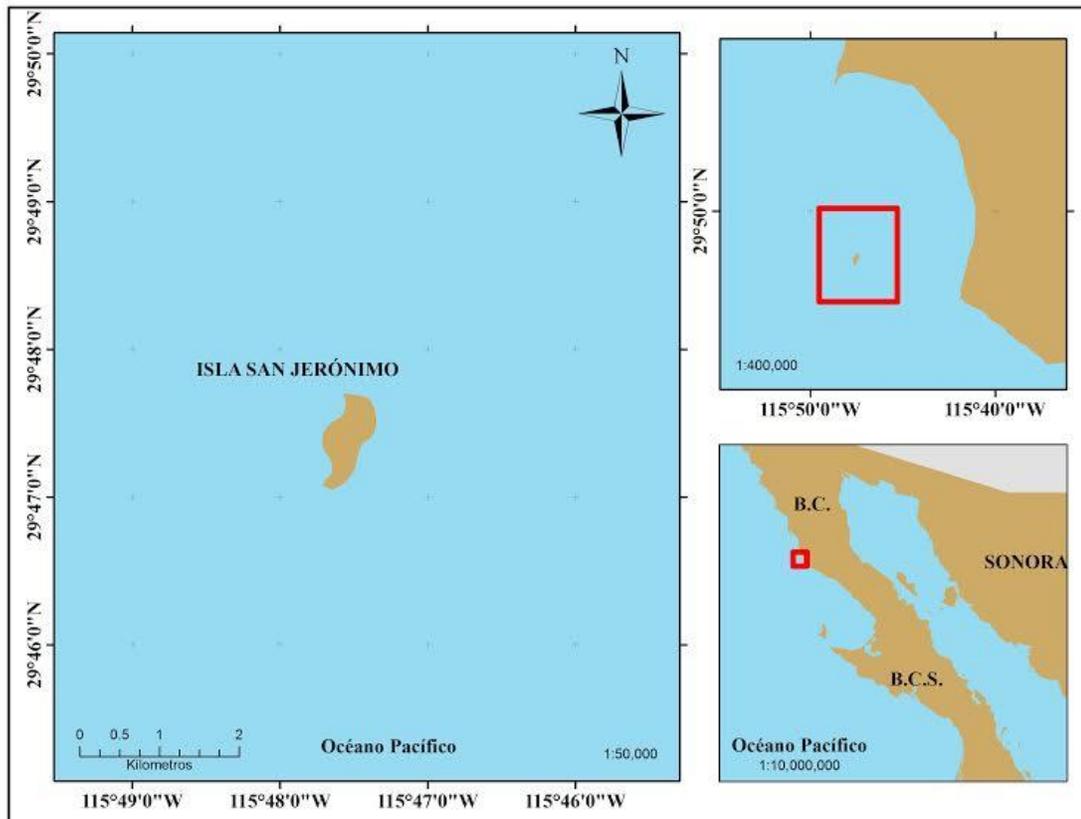
### **1.4.1. Objetivos particulares**

- Caracterizar químicamente los diferentes tipos de guano presentes en la Isla San Jerónimo, mediante un análisis del contenido de minerales, materia orgánica, así como la concentración de los elementos nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio.
- Implementar un método óptimo para solubilizar los componentes del guano procedente de aves marinas, mediante lixiviación ácida y alcalina.
- Mediante observación directa y en base a estudios previos, asociar los depósitos de guano de la Isla San Jerónimo del Pacífico de Baja California con las colonias de aves y mamíferos marinos que cohabitan en la Isla.
- Evaluar la eficiencia como fertilizante en cultivos agrícolas de los extractos obtenidos del guano de aves marinas y sus propiedades sinérgicas con extractos de algas marinas.

## 2. Metodología

### 2.1. Área de estudio

La Isla San Jerónimo se localiza en la península de Baja California frente a la Bahía de El Rosario, en el municipio de Ensenada, B. C., México (Lat 29° 47' 32.96" N, Long 115° 47' 29.78" O) (Figura 2). Su superficie es de 48.3 Ha con un perímetro de 4,228 m y una altura máxima de 44 m. Su vegetación dominante es el matorral desértico bajo. Se sabe que en esta Isla anidan 12 especies de aves y habitan tres de mamíferos marinos (Samaniego-Herrera *et al.*, 2007; Arias *et al.*, 2016). Esta Isla se encuentra en una región costera beneficiada por la Corriente de California, sistema altamente productivo, caracterizado por la advección de aguas frías del fondo, ricas en nutrientes, que afloran a la zona fótica, fenómeno oceanográfico conocido como surgencia, el cual explica la riqueza de vida en las aguas de la región (CONANP, 2005).



**Figura 2.** La Isla San Jerónimo se localiza en el Océano Pacífico, al oeste de la península de Baja California (Lat 29° 47' 32.96" N, Long 115° 47' 29.78" O).

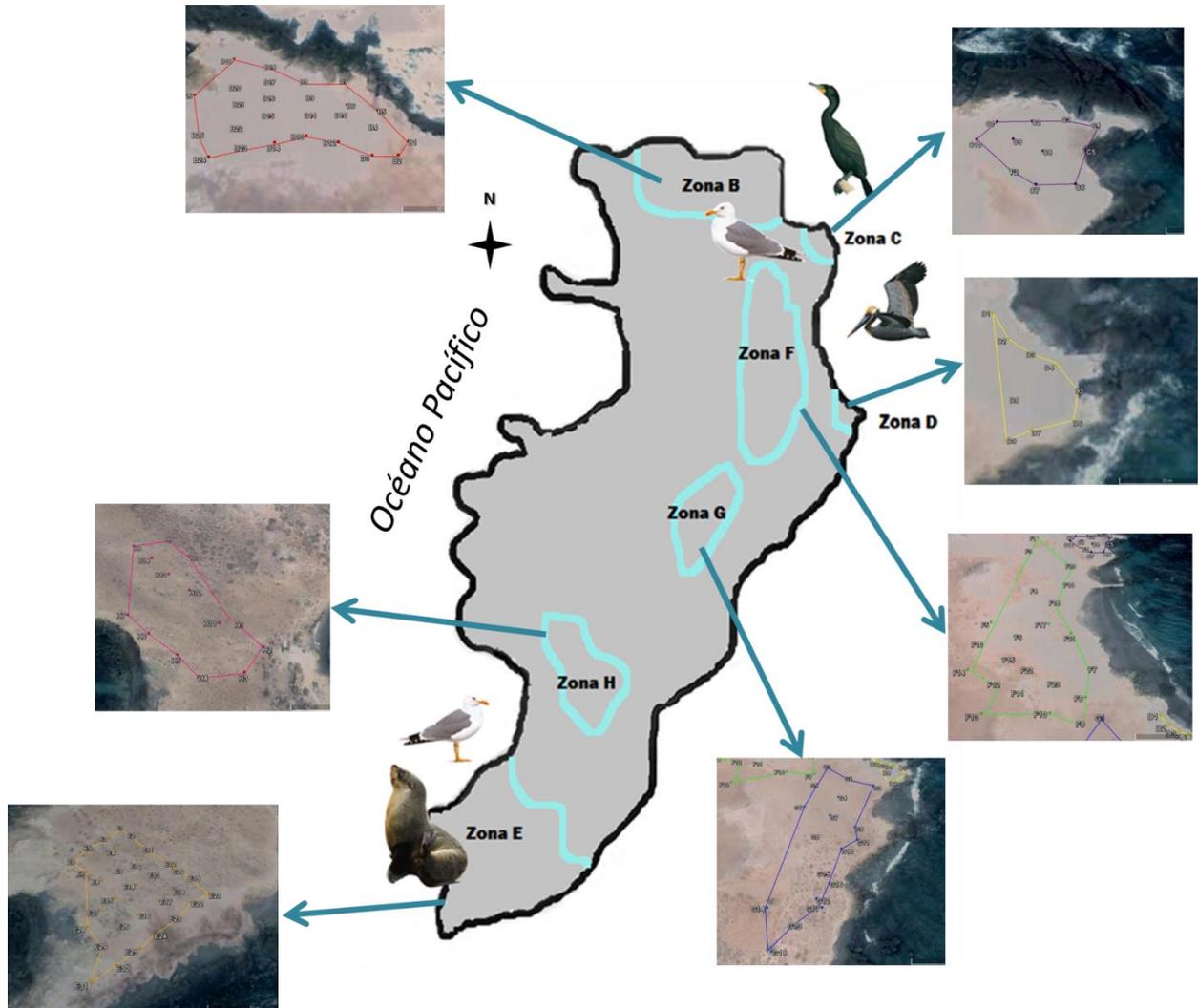
## 2.2. Recolección de muestras

Se realizó una salida de campo a la Isla San Jerónimo el 2 de octubre de 2014, siguiendo la recomendación de no interferir con los periodos de anidación de las aves que habitan en la zona (abril-agosto) (Méndez-Martínez, 2008). Para la recolección de muestras se utilizó la metodología de la NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis descritas en el Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación (Fernández-Linares et al., 2006); y el Manual de procedimientos para análisis de suelos (Reeuwijk, 2002); Roberts and Henry, 2000; NMX-AA-132-SCFI-2006; Norma INV E-104-07).

Primero se ubicaron las zonas con mayor contenido de guano y las zonas con mayor afluencia de aves y pinnípedos. Tomando en cuenta los puntos anteriores se delimitaron siete zonas (B, C, D, E, F, G, H), las cuales se trabajaron con polígonos de diferentes áreas. Los puntos de muestreo se hicieron de acuerdo a la cuadrícula propuesta en el lugar. Para las zonas centrales de la Isla con poca afluencia de aves se hicieron cuadrículas de 30 x 30 m aproximadamente y las zonas pegadas a la costa con alta afluencia de aves y pinnípedo con excretas frescas y sedimento húmedo se siguió una cuadrícula de 15 x 15 m aproximadamente, cabe mencionar que las medidas se hicieron de acuerdo al relieve de la zona. Las muestras de la zona considerada como A son excretas frescas recolectadas al azar durante el recorrido de la Isla.

El trayecto para la toma de muestras se realizó al azar, la cuadrícula que se marcó para cada polígono se midió con ayuda de cintas métricas de 30 m, colocando estacas para identificar los puntos. La toma de muestra se hizo eligiendo diferentes puntos dentro de la cuadrícula. La ubicación de los puntos de muestreo por cada zona y características representativas de la zona de estudio, se registraron en la bitácora.

La toma de muestras para cada zona delimitada se hizo de acuerdo a las características físicas observadas en el campo, como su textura, humedad y coloración del material presente en la parte superficial del suelo. Para esta salida de campo se consideró recolectar la mayor cantidad posible de muestras representativas. La figura 3 muestra los puntos de muestreo por cada zona.



**Figura 3. Zonas delimitadas para la toma de muestras de guano de aves marinas de la Isla San Jerónimo, Baja California. Se muestran las zonas de muestreo (B, C, D, E, F, G, H).**

Las excretas frescas se recolectaron durante el recorrido, estas tenían consistencia blanda con coloración rojiza. Se recolectaron principalmente en las zonas con abundancia de aves marinas. Para la recolección se utilizó una espátula o cuchara metálica; para su conservación y transporte, cada muestra se colocó en un frasco de vidrio, previamente lavado y seco. Las muestras se mantuvieron en hielo hasta llegar a Ensenada y posteriormente se conservaron a una temperatura de  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Para la recolección de muestras de sedimento de tonos café oscuro a rojizo con humedad ubicados en las puntas de la Isla (zonas B, C, D, E), donde se observó presencia de aves y mamíferos marinos, se hicieron excavaciones de 30 cm aproximadamente; con apoyo de una pala, se revolvió el material y por cada punto se

recolectó una muestra. Cada muestra consistió de 100 a 150 g de material que se colocó dentro de frascos de plástico, previamente lavados y secados. Para su conservación, las muestras se mantuvieron en hielo hasta llegar a Ensenada para después almacenarlas a una temperatura de -3 °C.

Por último, las muestras recolectadas en la zona central de la Isla (Zonas F, G y H), donde se observó poca afluencia de aves y mamíferos marinos. El muestreo se realizó con apoyo de núcleos de acero galvanizado de 35 cm de longitud y 5 cm de diámetro, en cada punto el nucleador se enterró por completo. Para extraerlo y evitar que el núcleo se descargara, se sacó con mucho cuidado, se giró haciendo succión en la parte posterior del núcleo. Cada núcleo se forró con plástico adherible. Las muestras debido a problemas de espacio en el congelador, se mantuvieron en hielo por dos semanas, posteriormente se almacenaron a una temperatura de -3 °C.

Todas las muestras fueron etiquetadas de acuerdo a la zona de trabajo con números consecutivos.

### **2.3. Fauna asociada**

Durante el recorrido en la Isla San Jerónimo se anotó en bitácora las observaciones *in situ* sobre la fauna que se encontró, principalmente especies de aves y mamíferos marinos. Se tomó nota de la ubicación de los grupos de especies en la Isla y características del área que utilizan como refugio, el tipo de sedimento donde hacen sus anidaciones. Se tomó fotografías como evidencia de las especies observadas y posteriormente se hizo una revisión bibliográfica para relacionar y corroborar las especies en el área de estudio.

### **2.4. Caracterización del sedimento recolectado**

Las muestras recolectadas en las diferentes zonas de estudio de la Isla San Jerónimo se caracterizaron de acuerdo a sus condiciones físicas y químicas. Primero se homogenizaron mediante un cuarteo, posteriormente se secaron y tamizaron para obtener muestras representativas para los análisis posteriores (humedad, cenizas, pH y nitrógeno). Para los análisis correspondientes se siguió la metodología citada en la NOM-021-SEMARNAT-2000; Manual de procedimientos para análisis de suelos

(Reeuwijk, 2002) y del manual Official methods of analysis of AOAC International (AOAC, 1984).

#### 2.4.1. Homogeneización de muestras mediante cuarteo

Para obtener una porción representativa de cada muestra, las muestras fueron descongeladas; se hizo un cuarteo siguiendo la metodología de Reeuwijk (2002) y la NMX-AA-132-SCFI-2006. La muestra se colocó sobre una superficie dura no absorbente, limpia y nivelada. Durante el cuarteo se eliminaron partículas con tamaño mayor a 1 cm; se mezcló totalmente y se formó una pila cónica, con ayuda de una espátula se aplanó el cono y se cuarteó el material cortándolo en cuatro porciones iguales, de las cuales se descartaron dos porciones diagonalmente opuestas. El procedimiento se repitió hasta obtener una muestra de 50 g aproximadamente (Figura 4).



Figura 4. Procedimiento utilizado para la homogeneización y cuarteo de muestras.

#### 2.4.2. Secado

Algunas de las muestras se humedecieron durante el transporte, por lo que se sometieron a deshidratación a una temperatura de 60 °C hasta peso constante en estufa de calentamiento por convección (Precision, Mod.18EM). (Figura 5).



Figura 5. Muestras recolectadas en diferentes zonas de la Isla San Jerónimo, Baja California.

### 2.4.3. Tamizado

Las muestras fueron separadas con ayuda de un tamiz de 32 mesh (luz de malla de 0.500 mm) en dos fracciones (una mayor y una menor). Cada muestra se tamizó hasta separar por completo el sedimento; cada fracción se pesó con ayuda de una balanza (Mettler LJ16 Moisture Analyser) (Figura 6).



Figura 6. Muestra de guano de la Isla San Jerónimo, Baja California, después de ser tamizada.

### 2.4.4. Humedad

Muestras de 40-60 g de guano se colocaron en cápsulas de aluminio a peso constante y se sometieron a una temperatura de 60 °C en una estufa de convección (Precisión Mod.18EM) por un tiempo de 48 horas (peso constante). La humedad se calculó por diferencia de pesos (1).

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(\text{Peso Inicial-Tara}) - (\text{Peso final-Tara})}{(\text{Peso inicial-Tara})} \times 100$$

(1)Dónde:

Tara: Peso de la navecilla.

### 2.4.5. Cenizas

Muestras de 1 a 2 g de guano se colocaron en cápsulas de aluminio a peso constante y se sometieron a una temperatura de 500 °C por 4 horas en una mufla (Lindberg SIB). Se calculó por diferencias de pesos (2).

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{\text{Peso final-Tara}}{\text{Peso inicial-Tara}} \times 100$$

(2)

#### 2.4.6. Peso seco

Se calculó por diferencia de porcentaje de humedad del 100% (3).

$$\% \text{ Peso Seco} = 100 - \% \text{ Humedad} \quad (3)$$

#### 2.4.7. Materia orgánica

Se calculó por diferencia de porcentaje de cenizas del 100% (4).

$$\% \text{ Materia Orgánica} = 100 - \% \text{ Cenizas} \quad (4)$$

#### 2.4.8. Potencial de hidrógeno (pH)

Para medir el pH se preparó una mezcla de guano sólido con agua en una proporción (2:5), para ello, se pesaron 2 g de guano, se le agregaron 5 mL de agua y se agitó de 3-5 minutos, posteriormente se midió directamente con un potenciómetro con dos cifras significativas (Orion Star A121, Electrodo Ross Ultra, Thermo Scientific).

#### 2.4.9. Nitrógeno total (N)

El método consistió en digerir las muestras de guano sólido y extracto líquido (5) con ácido sulfúrico concentrado en presencia de catalizadores como  $K_2SO_4$  y  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  como agente oxidante que efectúa la destrucción oxidativa de la materia orgánica de la muestra y la reducción del nitrógeno orgánico a amoníaco; posteriormente la solución se alcaliniza con NaOH, para liberar amoníaco el cual por destilación por arrastre de vapor se recibe en una solución de ácido bórico; se titula con ácido clorhídrico valorando hasta vire de color verde a violeta (Método Micro Kjeldahl citado por Abadía *et al.*, 1973; AOAC, 1984) (Revisar metodología Anexo 1).

Las determinaciones se hicieron por triplicado; el % de nitrógeno se calculó con las fórmulas siguientes.

$$\% \text{ Nitrógeno Total} = \frac{(mL \text{ HCl muestra} - mL \text{ HCl blanco})(N)(1.4)(FA)}{g \text{ muestra}} \quad (5)$$

Dónde:

mL HCl muestra = Son los mL de HCl gastados en la titulación de la muestra.

mL HCl blanco = Son los mL de HCl gastados en la titulación del blanco.

N= Normalidad del ácido clorhídrico (HCl).

FA= Factor de alícuota (5.1).

$$\text{Factor alícuota} = \frac{\text{Vol. total del digerido}}{\text{Vol de la alícuota}}$$

(5.1)

## 2.5. Diseño experimental

Para lograr los objetivos planteados en este estudio, las muestras obtenidas en la Isla San Jerónimo se trabajaron de acuerdo a la Figura 7, donde se muestra el diseño experimental para las muestras de guano recolectado en la Isla San Jerónimo.

Para los análisis, se trabajó con muestras secas y tamizadas. Los análisis se realizaron por triplicado y en cada prueba se utilizó un blanco de reactivos.

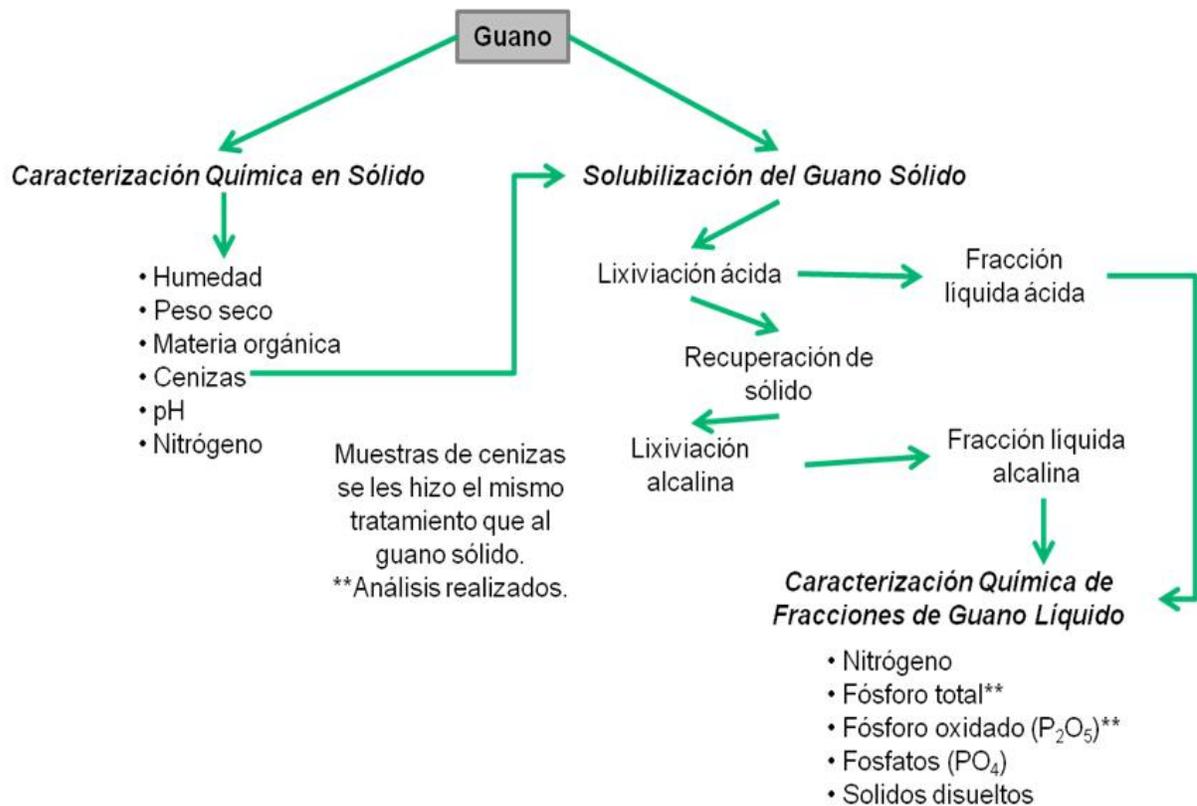


Figura 7. Esquema del diseño experimental para las muestras de guano recolectado en la Isla San Jerónimo, Baja California.

### 2.5.1. Método para solubilizar el guano de aves marinas

Para seleccionar el método adecuado para solubilizar la mayor cantidad de nutrientes presente en el guano recolectado en la Isla, se hicieron experimentos preliminares para determinar la concentración óptima de ácido y álcali, así como la temperatura de procesamiento que pongan en solución la mayor cantidad de nutrientes presentes en un menor tiempo.

Primer ensayo: Muestras de guano fueron tratadas con diferentes soluciones de ácido y sosa. El objetivo fue comparar la eficiencia de los diferentes solventes para solubilizar los nutrientes en las muestras (Figura 8). Se hicieron tres extracciones del mismo sedimento con el solvente respectivo. Se utilizó temperatura en la primera extracción (80–95°C), las siguientes dos, se hicieron a temperatura ambiente. La Figura 9 muestra la metodología utilizada.



Figura 8. Esquema del diseño experimental para la cuantificación del material disuelto en muestras de guano sólido.

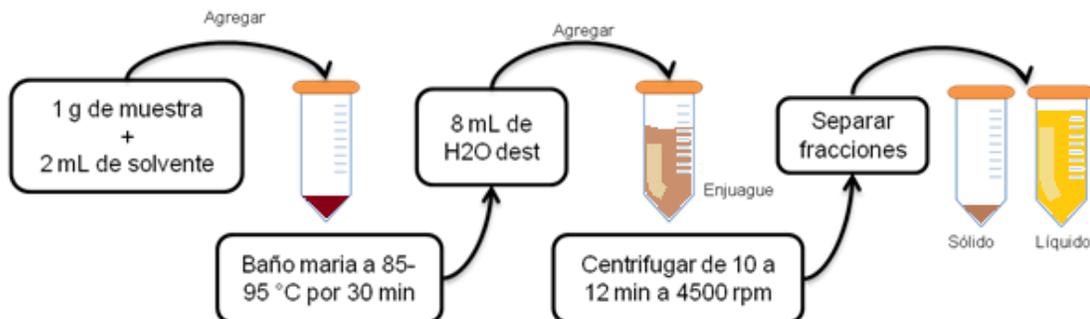


Figura 9. Diagrama de flujo de la metodología utilizada para la extracción de nutrientes en guano de aves marinas.

Segundo ensayo: Para conocer la concentración óptima del ácido sulfúrico para solubilizar los nutrientes, se varió la normalidad (1N, 2N, 5N, 10N y 36N). Las muestras fueron tratadas con la metodología antes mencionada (Figura 9).

En el tercer ensayo se hizo una prospección del método (Figura 9) en muestras de guano de las zonas A, B, y G utilizando un solvente ácido y después un alcalino. De acuerdo a los ensayos realizados, se diseñó el método óptimo para solubilizar los componentes de interés (N, P, K, etc.) en las distintas muestras de guano recolectadas, el cual consistió en realizar primero un proceso de lixiviación ácida, seguida de una lixiviación alcalina. El proceso se adecuó en función del material, la temperatura, el tiempo, y la concentración de nutrientes (Anexo 4). Para separar la fracción líquida de la sólida en las muestras de guano, se centrifugaron a 4500 rpm en una centrífuga IEC Mod HN-SII.

## 2.5.2. Caracterización química de las fracciones ácidas y alcalinas del guano

Para el análisis de las fracciones de la lixiviación ácida y alcalina del guano se diluyeron en proporción 1:10 y se filtraron con ayuda de un filtro Whatman® de membrana de nitrato de celulosa de 0.45 µm. Para los análisis correspondientes se siguió la metodología citada en el Manual de la AOAC (AOAC, 1984), modificada de acuerdo al equipo y los reactivos disponibles.

### 2.5.2.1. Sedimentos: soluble e insoluble

De acuerdo a la metodología utilizada para solubilizar el guano de las diferentes zonas, después del tratamiento, se realizó el análisis para determinar las fracciones correspondientes a sedimento soluble e insoluble. Para su determinación se usaron las siguientes ecuaciones (6 y 7).

$$\% \text{ Sedimento insoluble} = \frac{\text{g Muestra final} * 100}{\text{g Muestra Inicial}} \quad (6)$$

$$\% \text{ Sedimento solubles} = 100 - \% \text{ sedimento insolubles} \quad (7)$$

Dónde:

Muestra inicial: Son los g de sedimento sin tratar (secos a 60°C).

Final: Son los g de sedimento remanente después de las lixivitaciones ácidas y alcalinas (secos a 60°C).

### 2.5.2.2. Sólidos suspendidos totales (SST)

Las muestras se diluyeron en proporciones 1:10 y 1:100, dependiendo de la zona. Se tomaron 5 mL de muestra y se aforó en 50 mL con agua destilada, la solución se dejó reposar por 5 min y posteriormente se midió el contenido de sólidos suspendidos totales (ppm o mg/Kg) con apoyo de un conductímetro digital Oakton Modelo TDS1.

### 2.5.2.3. Nitrógeno total (N)

Se utilizó la metodología antes mencionada. Las determinaciones se hicieron por triplicado, se usaron 2mL de extracto.

### 2.5.2.4. Fósforo total (P)

Se utilizó el método colorimétrico de azul de molibdeno (AOAC, 1984). Consiste en la oxidación del fósforo (P) por acción del molibdato de amonio ( $(\text{NH}_4)_6 \text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ), donde el compuesto resultante se reduce con sulfato de hidracina ( $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$ ) para formar el complejo azul de molibdeno, el cual es medido por espectrofotometría a 827 nm comparado con un blanco de reactivos. La concentración de P se determinó mediante una curva estándar en el rango que cumple con la Ley de Lambert & Beer, donde la concentración es directamente proporcional a la cantidad de luz que se absorbe (Villarreal-Morales, 1985) (Revisar metodología Anexo 2).

En la curva de calibración se usó fosfato de potasio monobásico para preparar el estándar a una concentración de 100  $\mu\text{g P/mL}$ , posteriormente se hicieron diluciones para que la curva quedara en un rango de 0 a 10  $\mu\text{g P/mL}$ ; con la curva se determinó el coeficiente de extinción (pendiente de la recta) para P (8). Para calcular el porcentaje de P en las muestras se utilizó el promedio de tres réplicas (9).

$$\text{Concentración de Fósforo} = \frac{\text{Absorbancia}}{\epsilon} \quad (8)$$

Dónde:

$\epsilon$ = Es el coeficiente de extinción (pendiente de la recta).

$$\text{Fósforo Total} = \frac{(\text{Concentración de P Muestra} - \text{Concentración de P Blanco})(\text{Vol. inicial})(\text{FD})}{\text{g de muestra}} \quad (9)$$

Dónde:

Concentración de P Muestra y Blanco: Es la concentración obtenida por la regresión lineal.

Vol. Inicial: Son los mL donde se diluyeron los g de muestra.

FD: Factor de dilución.

### 2.5.2.5. Fósforo oxidado (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)

Para determinar el fósforo oxidado (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) se utilizó la técnica espectrofotométrica de molibdovanadatofosfato citada en el manual de AOAC (1984), que consiste en la extracción de todos los compuestos de fósforo solubles en agua y en citrato de amonio neutro. El P presente en forma de fosfatos reacciona con el molibdato de amonio ((NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub> Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>·4H<sub>2</sub>O) y metavanadato de amonio (NH<sub>4</sub>VO<sub>3</sub>) lo cual origina un compuesto de color amarillo. La cantidad de compuesto formada es directamente proporcional a la cantidad de P presente en la muestra (Anexo 3). La medición se hace en un espectrofotómetro calibrado a una longitud de onda de 400 nanómetros y los cálculos con las ecuaciones 10 y 11.

$$\text{Concentración de P2O5} = \frac{\text{Absorbancia}}{\epsilon} \quad (10)$$

Dónde:

ε= Es el coeficiente de extinción (pendiente de la recta).

$$\text{P2O5} = \frac{(\text{Concentración P2O5 Muestra} - \text{Concentración de P2O5 Blanco})(\text{FD})}{\text{g de muestra}} \quad (11)$$

Dónde:

Concentración de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Muestra y Blanco: Es la concentración obtenida por la regresión lineal.

FD: Factor de dilución, en caso de haber hecho diluciones.

La curva de calibración se hizo con un estándar de fosfato de potasio monobásico a una concentración de 1 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/mL (Anexo 3), a partir de esta solución se hicieron diluciones para la curva de calibración con un rango de 0 a 600 µg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/mL (ppm).

### 2.5.2.6. Fosfatos (PO<sub>4</sub>)

La determinación de fosfatos se hizo con la ecuación 12 y 13, se usó el peso molecular del PO<sub>4</sub> y la concentración de P mediante una curva de calibración con el estándar de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> a una concentración de 0 a 350 µg PO<sub>4</sub>/mL (ppm).

$$\text{Concentración PO}_4 = \frac{\text{Absorbancia}}{\epsilon} \quad (12)$$

Dónde:

ε= Es el coeficiente de extinción (pendiente de la recta).

$$\text{PO}_4 \text{ Total} = \frac{(\text{Concentración de PO}_4 \text{ Muestra} - \text{Concentración de P Blanco})(\text{FD})}{\text{g de muestra}} \quad (13)$$

### 2.5.2.7. Potasio (K) y óxido de potasio (K<sub>2</sub>O)

La concentración de potasio y óxido de potasio debido a que no se cuenta con el equipo adecuado (absorción atómica), las muestras se mandaron a analizar en un laboratorio comercial, ubicado en la ciudad de Ensenada B. C., el cual se dedica al análisis químico de muestras agrícolas (Laboratorio Agroambiental de Ensenada S.A. de C.V.).

## 2.6. Análisis microbiológico

Los análisis microbiológicos debido a que no se contó con equipo y reactivos para realizarlos se hicieron en un laboratorio comercial (Laboratorios Núñez, Ensenada), Se pidió el análisis de coliformes totales, coliformes fecales, *Escherichia coli* y *Salmonella*.

Se analizó el extracto de guano utilizado en la prueba de campo y para una muestra de lechuga cosechada del cultivo tratado con extracto de guano. El objetivo es detectar si hay algún patógeno que sea nocivo para el consumidor en el producto final.

## 2.7. Análisis estadístico

Se generaron tablas para cada uno de los parámetros analizados donde se asociaron las zonas de estudio con las características físicas del material recolectado. Para la

interpretación de datos, se utilizó estadística en función de parámetros cualitativos como olor, coloración y textura; así como estadística para comparar en las muestras analizadas parámetros cuantitativos como concentración de nutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) y características químicas (humedad, cenizas, pH, etc.) (Sigma Plot versión 12) (Anexo 5).

Se analizó las bases de datos por parámetro en las diferentes zonas de estudio con la prueba de Shapiro y Wilk (Zar, 2010) para evaluar su normalidad. En algunas zonas no se cumplió la normalidad, probablemente por el bajo número de muestras, por lo que se recurrió a la estadística no paramétrica.

Para conocer si existen diferencias entre las 8 zonas de estudio de la Isla San Jerónimo para cada parámetro analizado, se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, que es un ANOVA por rangos (Zar, 2010). La hipótesis nula ( $H_0$ ) de la prueba es que NO hay diferencias en las medianas de los valores en los diferentes grupos (Anexo 6).

Posteriormente se corrió la prueba de comparación múltiple, que se utiliza para determinar exactamente que grupos son diferentes y con esto conocer cuáles son las zonas o tipos de guanos que presentan diferencias significativas con respecto a cada parámetro de medición. Para este análisis se utilizó la prueba de Dunn's (Zar, 2010) que es para tamaños de muestra diferentes entre grupos (Anexo 6).

Por otro lado, cuando el número de muestras en los grupos fueron iguales se utilizó la prueba de Tukey (Zar, 2010), para hacer la comparación de todos los grupos por pares. Los resultados de comparaciones se muestran en el Anexo 3. Cabe mencionar que en las comparaciones por pares en que se tuvo duda si había o no diferencia significativa se les hizo una prueba U de Mann-Whitney (Zar, 2010), que es equivalente a una prueba t-student en datos no paramétricos, para corroborar los resultados (Anexo 6).

También se calculó el intervalo de confianza en cada parámetro para observar la dispersión de los datos por zona de estudio, siguiendo la ecuación (14).

$$IC = \text{Mediana} \pm 1.58 \left( \frac{Q3 - Q1}{\sqrt{n}} \right)$$

(14)

## 2.8. Preparación de extractos de guano para pruebas en campo

De acuerdo a las pruebas preliminares donde se determinó la eficiencia de los solventes para la solubilización de nutrientes como nitrógeno y fósforo (Anexo 4), y basado en la clasificación sugerida para los tipos de guano presentes en la Isla. Se hicieron dos pruebas piloto para preparar extracto de guano, una se trabajó con depósitos de guano clasificado como joven y otra con material clasificado como guano fósil.

En ambos casos el material fue tratado con solventes amigables con el ambiente a bajas concentraciones.

En las muestras de sedimentos utilizadas se determinó el contenido de nitrógeno antes del tratamiento (condición inicial). Posteriormente se determinó el nitrógeno en el extracto líquido. El objetivo fue corroborar la eficiencia en la extracción de nitrógeno con los solventes utilizados.

En cubetas de 20 L se hicieron dos corridas, en una de ellas para la primera extracción se utilizó ácido cítrico (2N), y en el otro caso ácido acético (2N); para la segunda extracción en cada caso se utilizó hidróxido de potasio (2N) (Figura 10).

Una vez obtenidos los extractos, se mezcló el extracto ácido con el extracto alcalino, quedando de la siguiente manera:

1. Guano joven (Ácido cítrico – Hidróxido de potasio)
2. Guano fósil (Ácido cítrico – Hidróxido de potasio)
3. Guano joven (Ácido acético – Hidróxido de potasio)
4. Guano fósil (Ácido acético – Hidróxido de potasio)

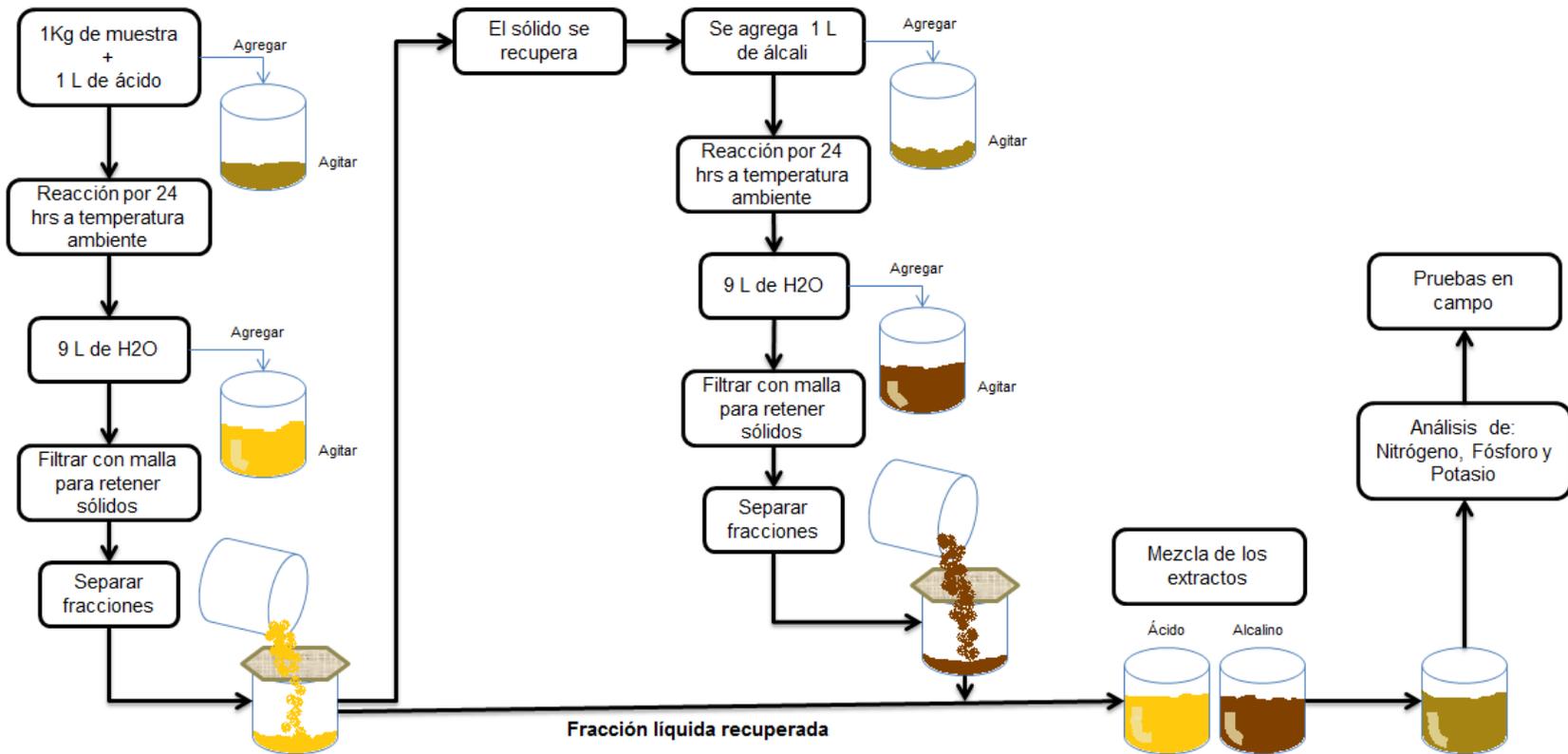


Figura 10. Diagrama de flujo de la metodología utilizada para solubilizar los nutrientes del guano joven y fósil en una prueba piloto utilizando reactivos amigables con el ambiente. Cubetas de 20 L.

## 2.9. Aplicación del extracto de guano

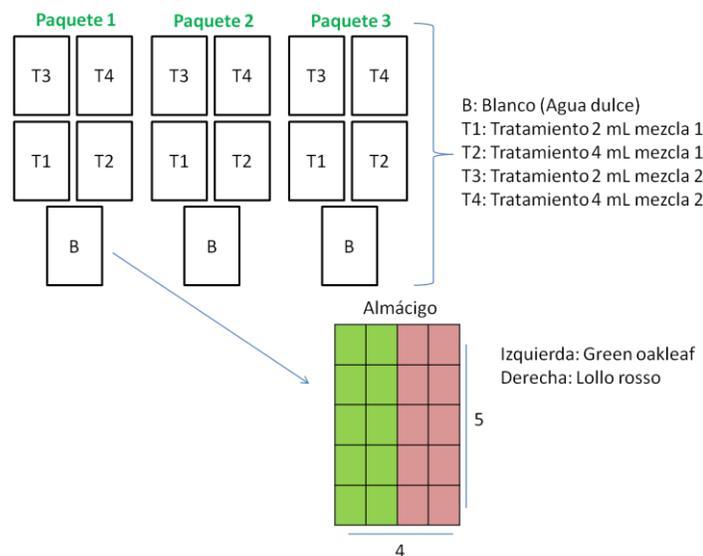
Para el ensayo en campo se preparó una mezcla de guano joven con fósil (Mezcla 1) utilizando la metodología antes mencionada. Partiendo de la mezcla anterior se preparó una nueva mezcla (1:1) con extracto de algas marinas (NPKelp) (Mezcla 2), donado por la empresa Algas y Extractos del Pacífico Norte, AEP SA de CV.

*Mezcla 1 (M1): Guano joven y fósil.*

*Mezcla 2 (M2): Guano con extracto de algas.*

El ensayo se realizó en laboratorio, en condiciones relativamente controladas. Se sembraron semillas de dos especies de lechuga (*Lactuca sativa*) conocidas como Green oakleaf lettuce o escarola verde y Red leaf lettuce, también conocida como Lollo Rosso. Las semillas se pusieron en almácigos de 4 x 5, colocando 10 semillas de cada especie en cada almácigo.

Las semillas germinaron al tercer día, a partir de ese día se inició el riego con las dos mezclas, utilizando dos concentraciones; 2 mL en 1000 mL de agua dulce y 4 mL en 1000 mL. El ensayo se hizo por triplicado y se utilizó como blanco el agua dulce. La Figura 11 y la Tabla 2 muestran el acomodo de las plantas y el calendario de riego durante todo el desarrollo del cultivo.



**Figura 11.** En el esquema se muestra como se sembraron las dos especies de semillas de lechuga en los almácigos, además de los tratamientos que se aplicaron a cada uno de ellos.

Tabla 2. Calendario de actividades y de aplicación de extractos en el cultivo de lechuga en condiciones relativamente controladas.

Septiembre 2015																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Siembra de semillas			x																											
Proceso de germinacion				x	x																									
Inicio de riego						x																								
Riego con atomizador							x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						
Riego al sustrato alternando dia																									x		x		x	
Reacomodo de raiz (Green oakleaf)																														
Reacomodo de raiz (Lollo rosso)																														

Octubre 2015																															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Riego al sustrato alternando dia	x		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x		
Trasplante a tarimas									x				x																		
Medicion de raiz									x																						
Mediciones proximales																															
Aireacion de tierra																															

Noviembre 2015																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Riego al sustrato alternando dia	x		x		x																									
Medicion de raiz																														
Mediciones proximales																														
Aireacion de tierra																														

Después de 36 días se hizo el trasplante a una tarima (Figura 12), donde se pudo evaluar la efectividad de las dos mezclas preparadas. Se tomaron medidas proximales del largo de raíz, altura de la planta, largo de hoja, ancho de hoja, número de hojas, circunferencia de follaje. Con la información anterior se podrá conocer el efecto de los extractos en el desarrollo de las plantas.

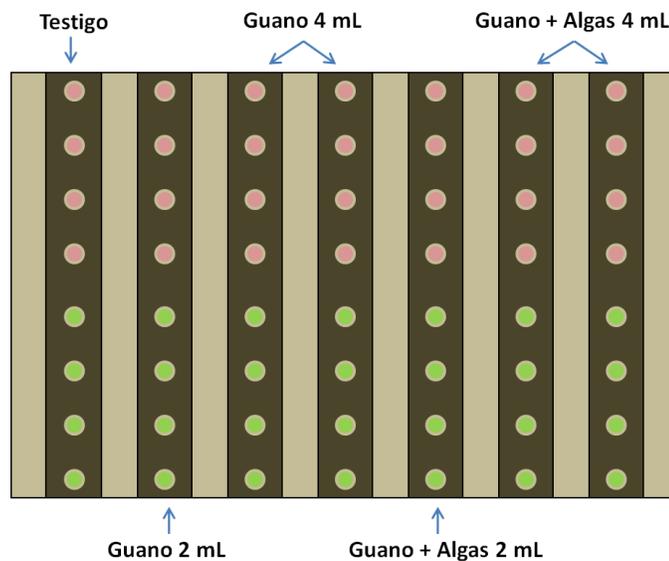


Figura 12. El esquema muestra el acomodo de las plantas de lechuga después del trasplante en una tarima de madera, además de los tratamientos que se le dieron a cada carril. Color verde (Escarola verde) y rosa (Lollo rosso).

## 3. Resultados

---

### 3.1 Área de muestreo

#### 3.1.1. Avistamiento

Durante el recorrido en la Isla San Jerónimo se observó poca vegetación consistente, principalmente se encontró matorral desértico. En la parte suroeste se encuentran casas en mal estado, que son utilizadas temporalmente por pescadores.

Por la mañana en la zona noreste de la Isla se observaron dos tipos de aves: pelicanos (*Pelecanus occidentalis*) y cormoranes (*Phalacrocorax penicillatus*) (Figuras 13 y 14) y por la tarde en la zona sur se observaron pinnípedos: focas comunes del Pacífico (*Phoca vitulina richardii*), lobos marinos de California (*Zalophus californianus*) y elefantes marinos del norte (*Mirounga angustirostris*) (Figura 15).



Figura 13. Población de pelicanos pardos (*Pelecanus occidentalis*) observadas en la Isla San Jerónimo, Baja California.



Figura 14. Población de cormoranes (*Phalacrocorax penicillatus*) observados en la Isla San Jerónimo, Baja California.



Figura 15. Población de elefantes marinos del norte (*Mirounga angustirostris*) destetados de un año aproximadamente, habitantes comunes en la Isla San Jerónimo, Baja California (Arias et al., 2016).

### 3.1.2. Muestreo de la Isla San Jerónimo

Como resultado de la salida de campo y para realizar el muestreo de forma organizada, la Isla se dividió en polígonos: A, B, C, D, E, F, G y H (Tabla 3). Se recolectaron un total de 149 muestras, de ellas 76 muestras fueron de guano joven, 55 de fósil y 18 de guano fresco. En el caso del guano fresco, éstas fueron recolectadas al azar durante el recorrido de las diferentes zonas de la Isla.

**Tabla 3. Ubicación aproximada de las zonas de estudio en la Isla San Jerónimo, Baja California. Área de polígonos donde se trabajó y el número de muestras por zona.**

Zona	Latitud N	Longitud O	Área de la Zona (m <sup>2</sup> )	Número de Muestras
<b>A</b>	-----	-----	-----	18
<b>B</b>	29°47'47.8"	115°47'26.6"	3,027.59	26
<b>C</b>	29°47'45.0"	115°47'21.3"	1,185.73	10
<b>D</b>	29°47'36.9"	115°47'18.8"	617.74	9
<b>E</b>	29°47'16.1"	115°47'38.4"	4882.93	31
<b>F</b>	29°47'44.9"	115°47'23.2"	17,516.77	23
<b>G</b>	29°47'36.8"	115°47'20.9"	10,163.13	18
<b>H</b>	29°47'23.1"	115°47'32.5"	11,310.32	14

### 3.2. Caracterización del material recolectado

De acuerdo al análisis descriptivo realizado a las muestras recolectadas (Tabla 4) de la Isla San Jerónimo y para fines de este estudio, el guano se clasificó en tres tipos, tomando en cuenta el tiempo transcurrido desde su depositación, así como a las características físicas observadas en la composición del sedimento: a) guano fresco, b) guano joven y c) guano fósil (Figura 16).

Guano fresco, se le consideró a las excretas recientes de aves con una antigüedad menor a 1 mes, las cuales mostraron diferentes texturas de acuerdo a las aves que habitan la Isla. Algunas mostraron restos de crustáceos que se infiere que son excretas de pelícanos, mientras que en una parte de la Isla se observaron manchas blancas de excretas líquidas, las cuales son absorbidas por el suelo (desechos principalmente de

cormoranes). Estas dos especies de aves fueron las que se observaron con mayor abundancia en la Isla (Muestras Zona A).

Guano joven (1 mes a 3 años) se le llamó a las excretas que ya tienen más de un mes de haber sido depositadas, las cuales ya se mezclaron con el material terrígeno de la zona e iniciaron un proceso de descomposición. La porción noreste de la Isla (zonas B, C, D), correspondió a zonas de anidación de aves marinas, ya que se observaron restos de nidos, huevos (cascarones) y osamentas de aves marinas y peces; en esta zona se percibió un fuerte olor a amonio.

El guano encontrado mostró una coloración de tonos café oscuro, por lo que, de acuerdo a nuestra clasificación, corresponde a depósitos de guano principalmente joven y fresco. Por otra parte, en la zona sur (E) donde el suelo tiene una coloración de tonos rojos oscuros, con restos de osamentas y pelaje de mamíferos marinos; en esta zona, se percibió un fuerte olor a orín, debido a los pinnípedos que cohabitan en la Isla. Cabe mencionar que durante el recorrido no se observó excretas de mamíferos marinos.

La parte media de la Isla, de los lados este y oeste (zonas F, G y H), la coloración del sedimento es café claro, corresponde a depósitos de guano antiguo (principalmente guano fósil), material ya mineralizado. Debido a que en la zona este de la Isla (F y G), se encontraron nidos bajo la superficie, es de suponer que es utilizada como área de anidación por temporadas. Su apariencia física es de sedimento arenoso color café-marrón con restos de osamenta, con un ligero olor a orina.



Figura 16. Tipos de guano encontrados en la Isla San Jerónimo, Baja California.

Tabla 4. Descripción del material recolectado en cada zona de la Isla San Jerónimo.

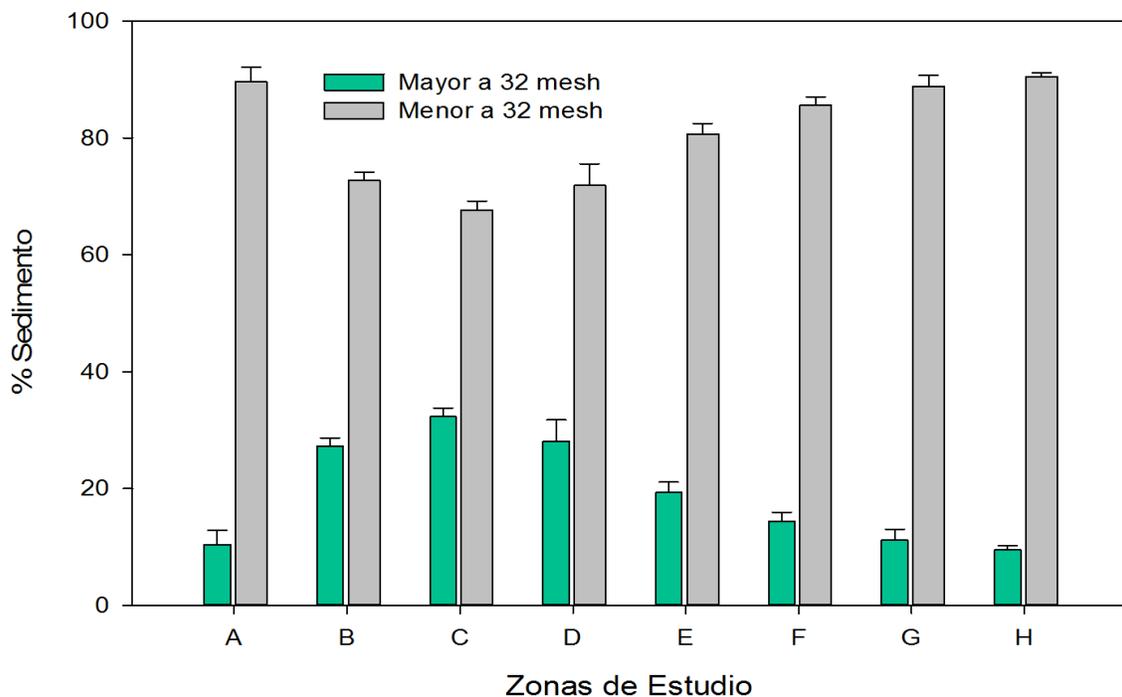
<p><b>Zona A:</b> Material húmedo, con restos de crustáceos con textura fibrosa.</p>	<p><b>Zona B:</b> Material húmedo, poroso, con presencia de restos de nidos (pastos marinos), plumas y osamenta, con muy poca roca. Material con coloración café oscuro con fuerte olor a amonio.</p> 
<p><b>Zona C:</b> Material arenoso arcilloso, húmedo. Presencia de restos de nidos (pastos marinos) y plumas. Algunos puntos de la zona contienen grava.</p> 	<p><b>Zona D:</b> Material húmedo, arenoso con abundante grava y canto rodado.</p> 
<p><b>Zona E:</b> Material poroso, con presencia de plumas y pelo de mamíferos, poco canto rodado. Material húmedo, compactado, color rojo oscuro con tonos café con fuerte olor a orín.</p> 	<p><b>Zona F:</b> Material seco, arenoso con poca grava. Presencia de restos de conchas y osamenta de aves y peces.</p> 
<p><b>Zona G:</b> Material seco, arenoso, con presencia de rocas pequeñas, troncos y ramas, además de restos de conchas.</p> 	<p><b>Zona H:</b> Material seco, arenoso con presencia de canto rodado, zonas con arena compactada en forma de roca.</p> 

### 3.2.1. Tamizado

El material tamizado con la malla de 0.500 mm (32 mesh) se separó en dos fracciones para cada muestra recolectada por zona de la Isla San Jerónimo. El análisis nos muestra la relación que hay entre el sedimento recolectado con el tipo de guano que se encuentra en la Isla San Jerónimo; las zonas B, C, y D tuvieron mayor contenido de material mayor a 32 mesh (27% a 32%) con presencia de restos de nidos y cantos rodados.

Las zonas E, F, G y H tuvieron un contenido entre el 80 a 99% de material menor a 32 mesh, estas zonas se caracterizaron principalmente por su contenido de material arenoso con poco material rocoso, sin presencia notoria de material orgánico (Figura 17).

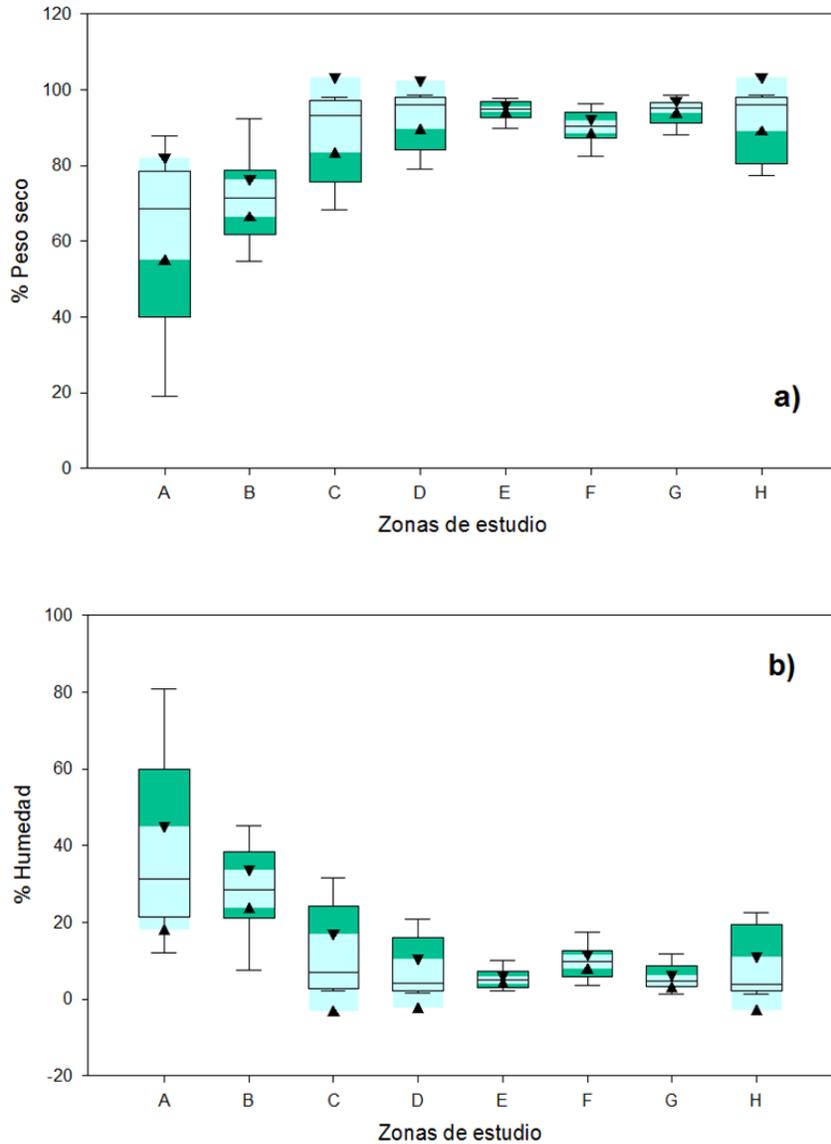
Por otra parte el material de la zona A (excretas frescas) en su mayoría consistió de material orgánico, con un mínimo de material terrígeno (10%).



**Figura 17: Porcentajes promedio obtenidos en las dos fracciones de sedimento pasadas por el tamiz de 32 mesh por zona de estudio en la Isla San Jerónimo de Baja California.**

### 3.2.2. Humedad y cenizas

Se puede observar que ocurre una disminución de humedad conforme a la antigüedad del material que está depositado en la Isla San Jerónimo, en las zonas de guano fresco y joven (A, B, C, y D) la humedad es de 30%, mientras que las zonas de guano fósil (E, F, G y H) su porcentaje de humedad fue inferiores al 20% (Figura 18).



**Figura 18. Peso seco (a) y humedad (b) calculado para las diferentes zonas de muestreo en la Isla San Jerónimo. El área sombreada (caja) representa la distribución de los datos, la línea en medio de la caja representa la mediana, mientras que las líneas verticales (bigotes) representan el valor máximo y el mínimo. La prueba Kruskal-Wallis,  $H=77.913$ ,  $g.l.=7$ ,  $P<0.001$  muestra que las medianas de las zonas son significativamente diferentes. Los símbolos  $\blacktriangledown$  muestran el intervalo de confianza del 95%. (n= 31).**

En las zonas A, B, C, se encontró mayor contenido de materia orgánica (Figura 19), esto coincide con el mayor contenido de humedad de los sedimentos.

Relacionando los porcentajes de humedad con el contenido de materia orgánica, se podría inferir que las zonas A, B y C corresponden a zonas de guano fresco y joven, y mientras que las zonas F, G y H son de guano fósil evidenciado por su alto contenido de cenizas y bajo porcentaje de humedad; las zonas D y E se puede considerar que son áreas con depósitos de guano mixto (joven y fósil).

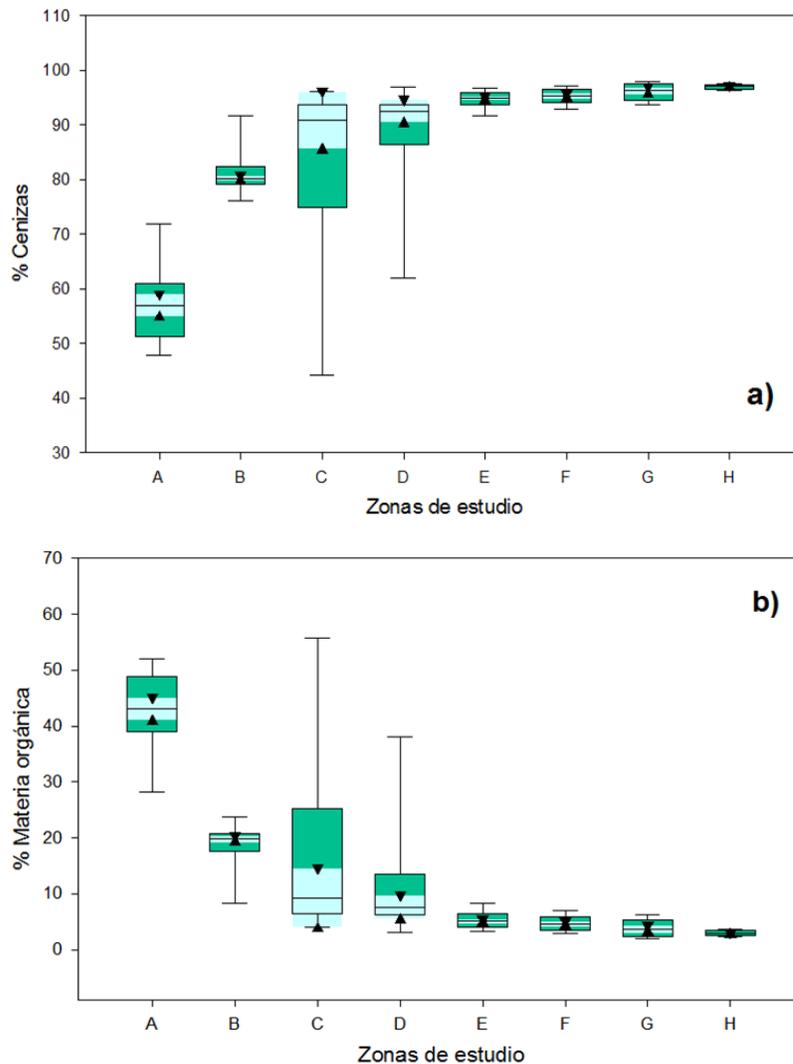


Figura 19. Cenizas (a) y materia orgánica (b) calculadas para las diferentes zonas de muestreo en la Isla San Jerónimo. El área sombreada (caja) representa la distribución de los datos, la línea en medio de la caja representa la mediana, mientras que las líneas verticales (bigotes) representan el valor máximo y el mínimo. La prueba Kruskal-Wallis,  $H=313.040$ , g.l.=7,  $P<0.001$  muestra que las medianas de las zonas son significativamente diferentes. Los símbolos  $\blacktriangle$  muestran el intervalo de confianza del 95%. (n= 93).

### 3.2.3. Potencial de hidrógeno (pH)

La mayoría de las muestras de guano sólidas presentaron un pH neutro a ligeramente ácido (6.5 a 6), sólo las muestras correspondientes a la zona A tuvieron un pH alcalino superior a 8.5 (Figura 20).

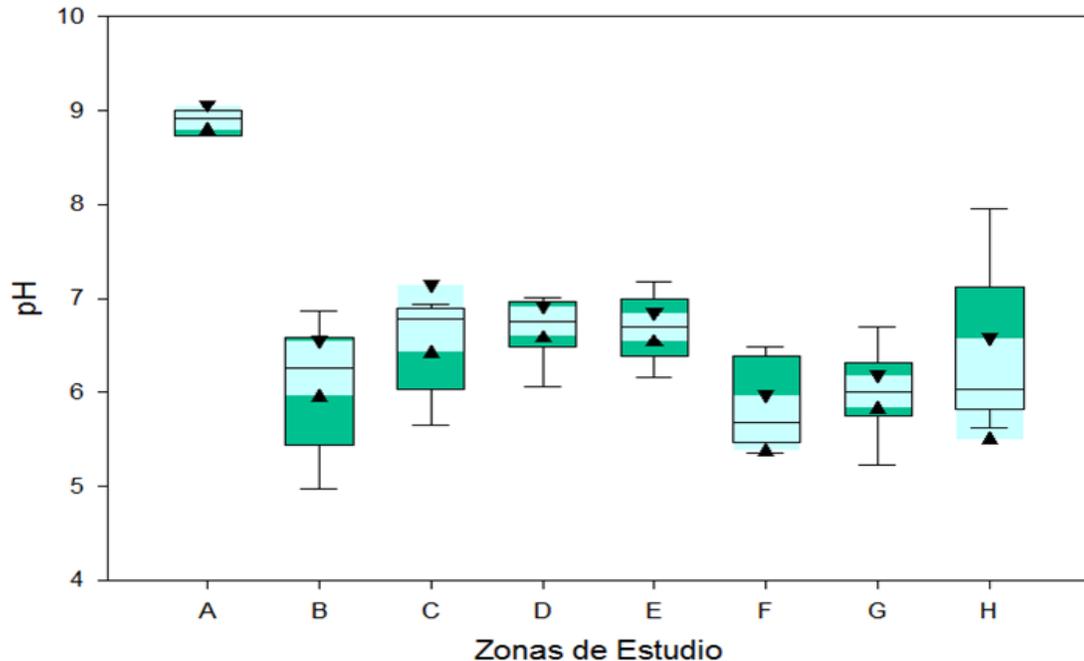


Figura 20. Comportamiento del pH del guano recolectado en las diferentes zonas de muestreo de la Isla San Jerónimo. El área sombreada (caja) representa la distribución de los datos, la línea en medio de la caja representa la mediana, mientras que las líneas verticales (bigotes) representan el valor máximo y el mínimo. La prueba Kruskal-Wallis,  $H=57.001$ , g.l.=7,  $P<0.001$  muestra que las medianas de las zonas son significativamente diferentes. Los símbolos  muestran el intervalo de confianza del 95%. (n= 32).

### 3.3. Método para solubilizar el guano de aves marinas

El procedimiento para solubilizar los nutrientes presentes en el guano de aves marinas se realizó en dos etapas, la primera consistió de una lixiviación con ácido y la segunda en lixiviación con álcali. Con base en los resultados obtenidos en los ensayos preliminares (Anexo 4) en cuanto a la eficiencia de solubilización de los componentes de interés como el nitrógeno y fósforo (Figuras 21 y 22, respectivamente), se determinó el proceso a seguir, donde se consideró como el método óptimo la solubilización ácida

utilizando ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), seguido de un tratamiento alcalino con hidróxido de sodio (NaOH) (Figura 23).

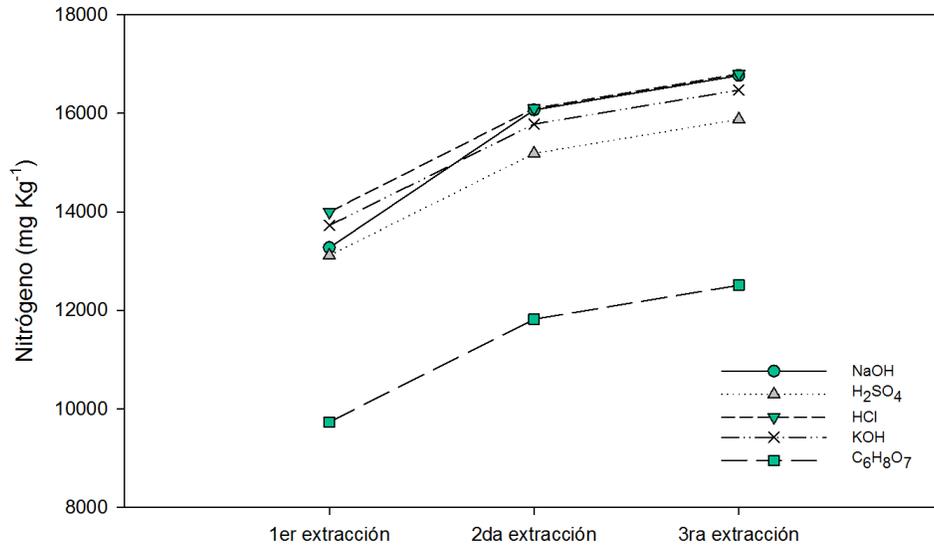


Figura 21. Determinación de nitrógeno total solubilizado con tres extracciones sucesivas (acumulativo), utilizando diferentes solventes sobre el guano de aves marinas de la Isla San Jerónimo.

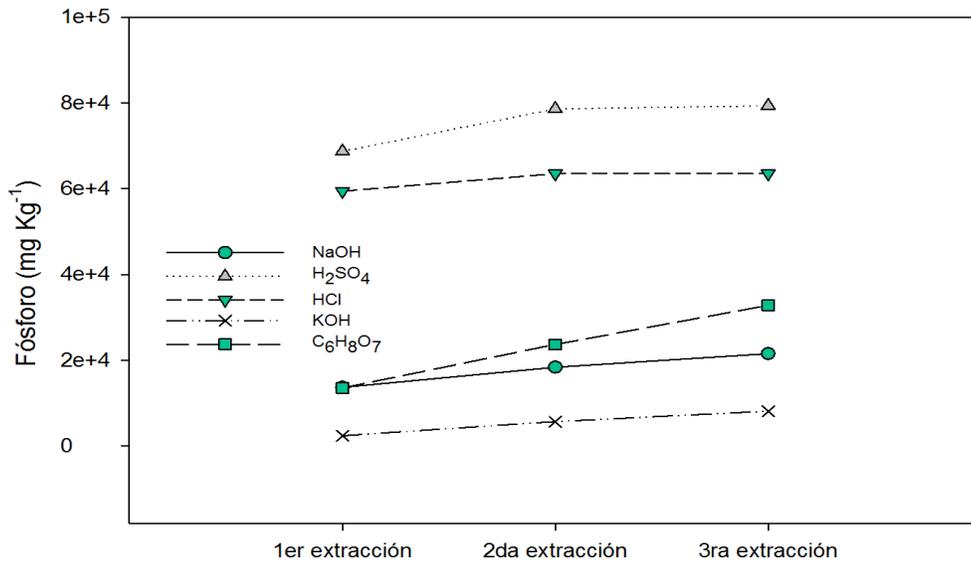


Figura 22. Determinación de fósforo total solubilizado con tres extracciones sucesivas (acumulativo), utilizando diferentes solventes sobre el guano de aves marinas de la Isla San Jerónimo.

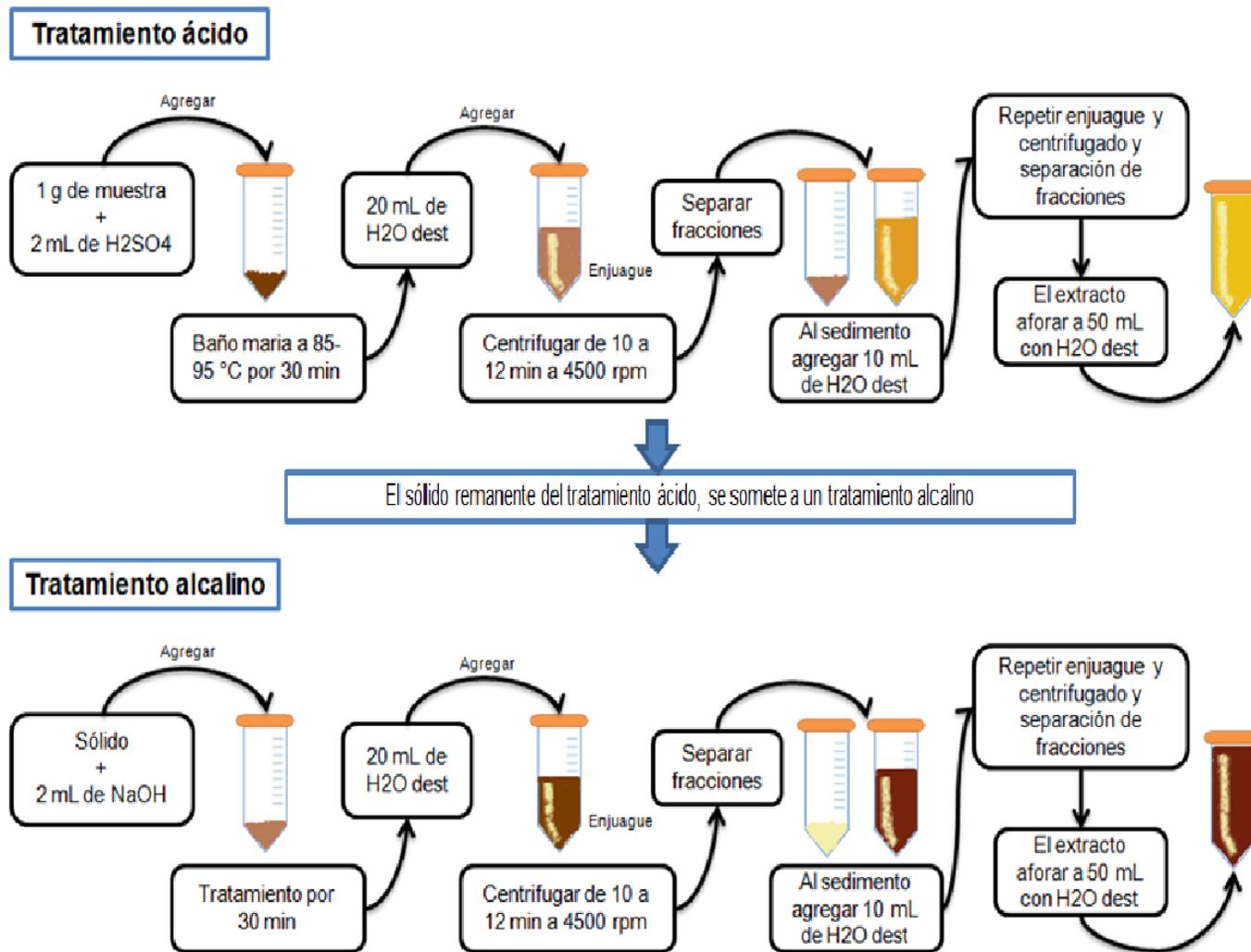
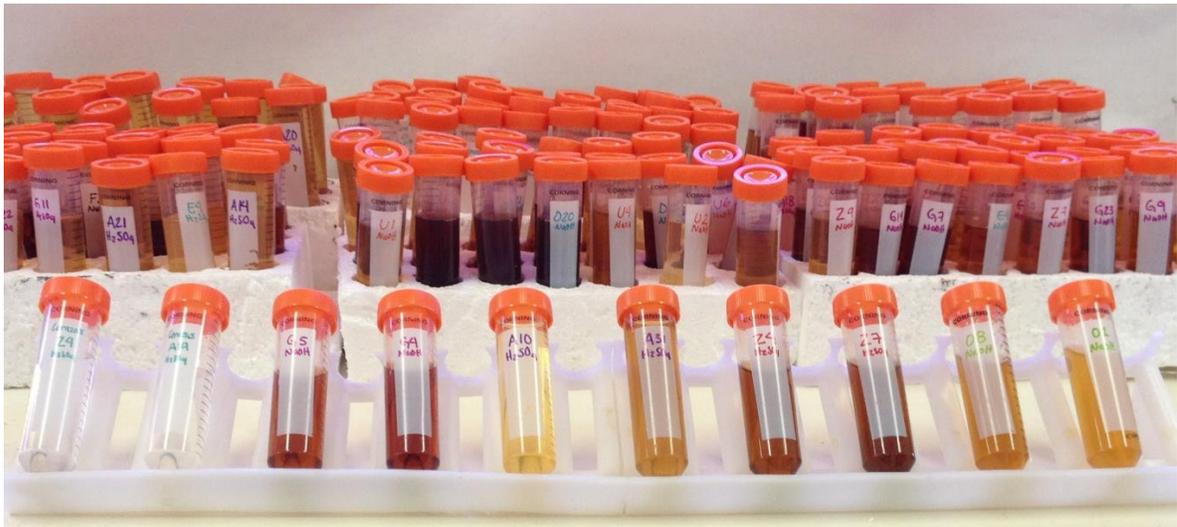


Figura 23. Diagrama de flujo de la metodología de extracción de nutrientes en guano fresco, joven y fósil de la Isla San Jerónimo.

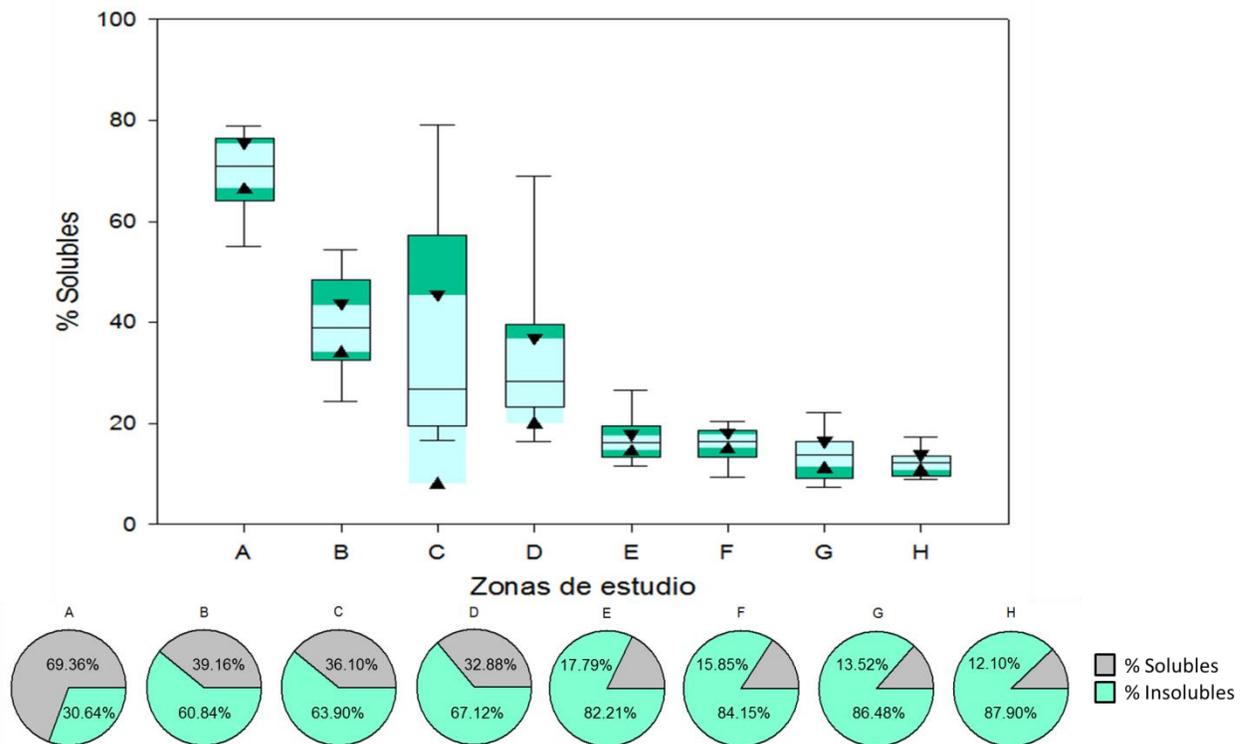
Con el proceso antes mencionado, se obtuvo un total de 148 extractos ácidos y 148 extractos alcalinos (Figura 24). Éstos fueron utilizados para realizar los análisis de nitrógeno total, fósforo total, fosfatos, fósforo oxidado y potasio. Cabe mencionar que adicionalmente se realizaron extractos de 3 muestras de cenizas tomadas al azar de cada una de las zonas (8 en total), de las cuales se obtuvieron 24 extractos ácidos y 24 alcalinos.



**Figura 24: Extractos solubles obtenidos de la lixiviación ácida y alcalina de cada muestra de guano de las zonas de trabajo de la Isla San Jerónimo.**

### 3.3.1. % solubles e insolubles

De los resultados obtenidos del tratamiento ácido y alcalino al que se sometió el guano, se observa que las zonas con mayor contenido de materia orgánica, el porcentaje de dilución del guano es mayor (35 a 70%), que las zonas con alto contenido de cenizas (< 20%) (Figura 25).



**Figura 25:** Guano total solubilizado con los dos tratamientos (ácido y alcalino) correspondiente a las diferentes zonas de muestreo de la Isla San Jerónimo. El área sombreada (caja) representa la distribución de los datos, la línea en medio de la caja representa la mediana, mientras que las líneas verticales (bigotes) representan el valor máximo y el mínimo del material solubilizado. La prueba Kruskal-Wallis,  $H=104.806$ ,  $g.l.=7$ ,  $P<0.001$  muestra que las medianas de las zonas son significativamente diferentes. Los símbolos  $\blacktriangledown$  muestran el intervalo de confianza del 95%. (n= 93).

### 3.3.2. Sólidos suspendidos totales (SST)

El análisis de sólidos suspendidos totales muestra la eficiencia del tratamiento ácido, ya que solubiliza una mayor proporción del guano, las concentraciones de SST que se obtuvo fueron mayores (270,000 a 320,000 ( $\text{mg Kg}^{-1}$ ), en comparación con las muestras tratadas con álcali (Figura 26).

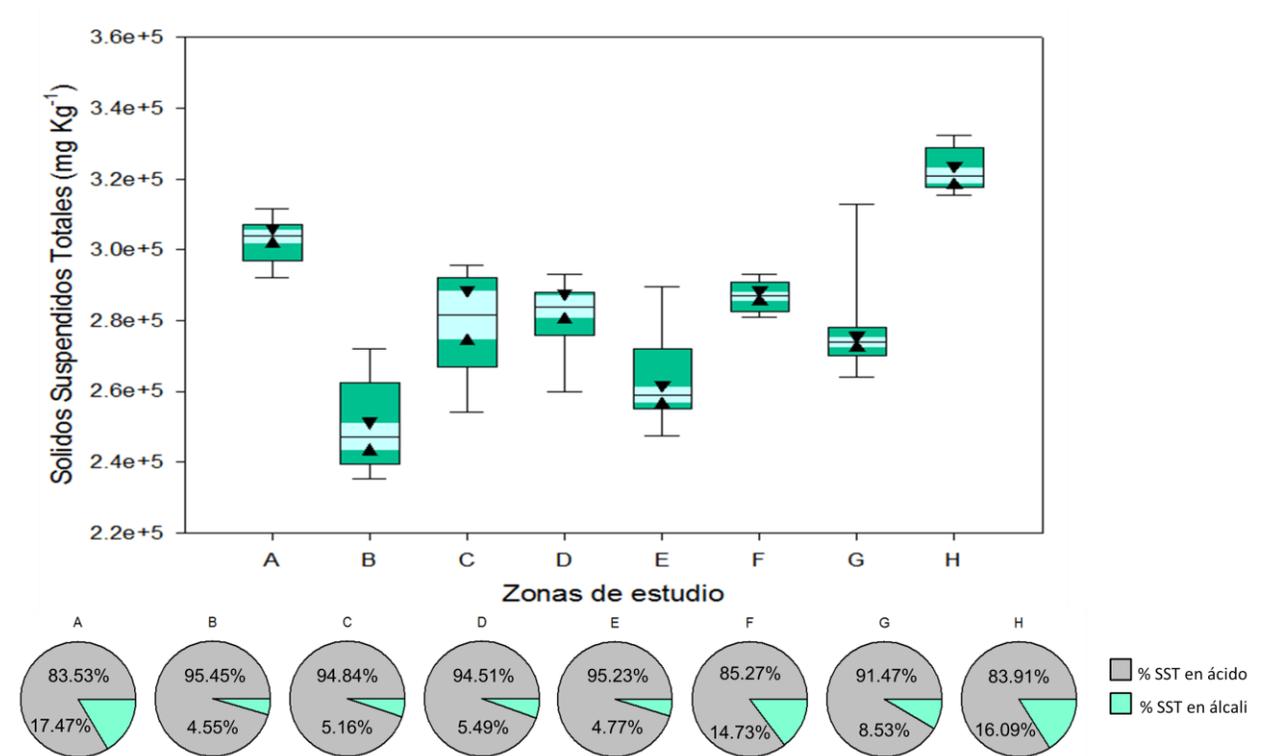
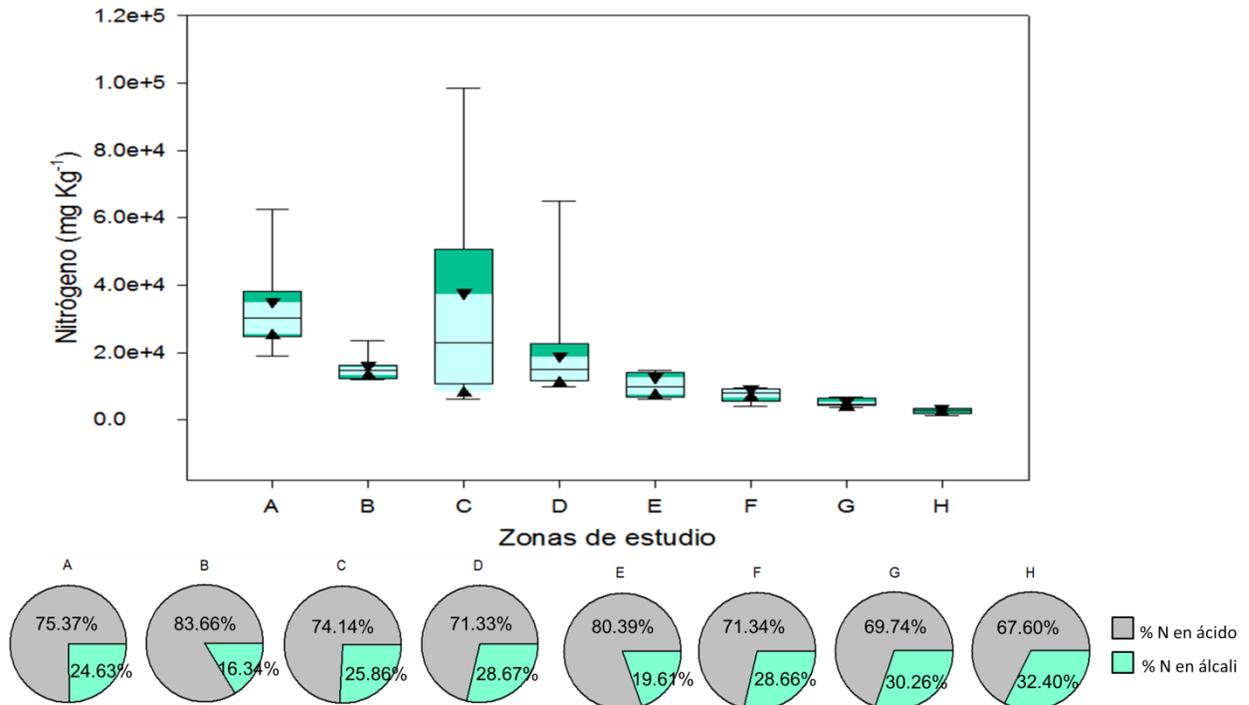


Figura 26: Sólidos suspendidos totales en los extractos de guano de las diferentes zonas de muestreo de la Isla San Jerónimo. El área sombreada (caja) representa la distribución de los datos, la línea en medio de la caja representa la mediana, mientras que las líneas verticales (bigotes) representan el valor máximo y el mínimo de SST obtenidos con los dos tratamientos (ácido y álcali). La prueba Kruskal-Wallis,  $H=310.265$ , g.l.=7,  $P<0.001$  muestra que las medianas de las zonas son significativamente diferentes. Los símbolos muestran el intervalo de confianza del 95%. (n= 93).

### 3.4. Caracterización química del guano líquido

#### 3.4.1. Nitrógeno total (N)

El proceso al que se sometieron las muestras de guano con ácido y álcali, mostró que la lixiviación ácida extrae más nitrógeno que la lixiviación alcalina. En la Figura 27, se observa que las zonas con mayor humedad y materia orgánica poseen un mayor contenido de nitrógeno (32,000 a 35,000 mg Kg<sup>-1</sup>), en comparación con las zonas con alto contenido de cenizas donde el nitrógeno es menor (2000 mg Kg<sup>-1</sup>).



**Figura 27: Nitrógeno total en los extractos de guano de las diferentes zonas de muestreo en la Isla San Jerónimo.** El área sombreada (caja) representa la distribución de los datos, la línea en medio de la caja representa la mediana, mientras que las líneas verticales (bigotes) representan el valor máximo y el mínimo de N obtenidos con los dos tratamientos (ácido y álcali). La prueba Kruskal-Wallis,  $H=111.365$ , g.l.=7,  $P<0.001$  muestra que las medianas de las zonas son significativamente diferentes. Los símbolos muestran el intervalo de confianza del 95%. (n= 18).

También se determinó el nitrógeno total en muestra de guano (sedimento) para corroborar que la lixiviación ácida y alcalina funciona para extraer el nitrógeno de las

muestras. Con la metodología utilizada los extractos de guano en solución contienen casi la totalidad del nitrógeno presente en el sedimento (Figura 28).

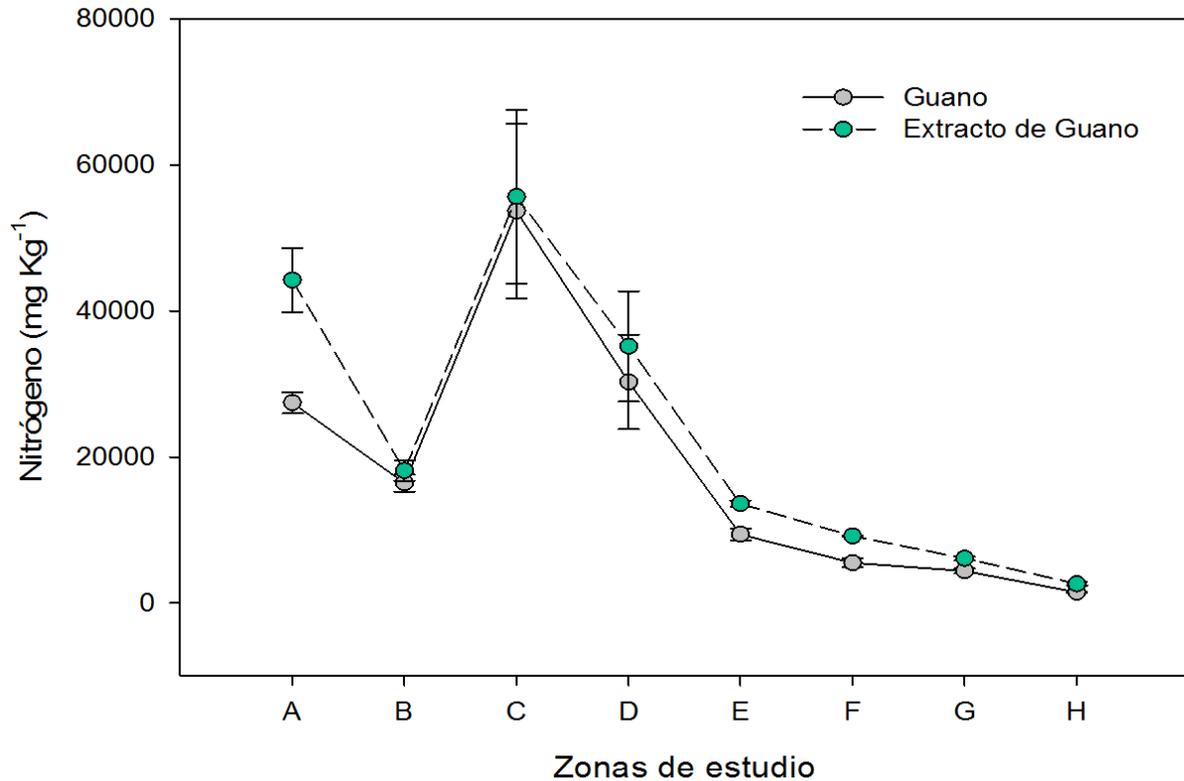


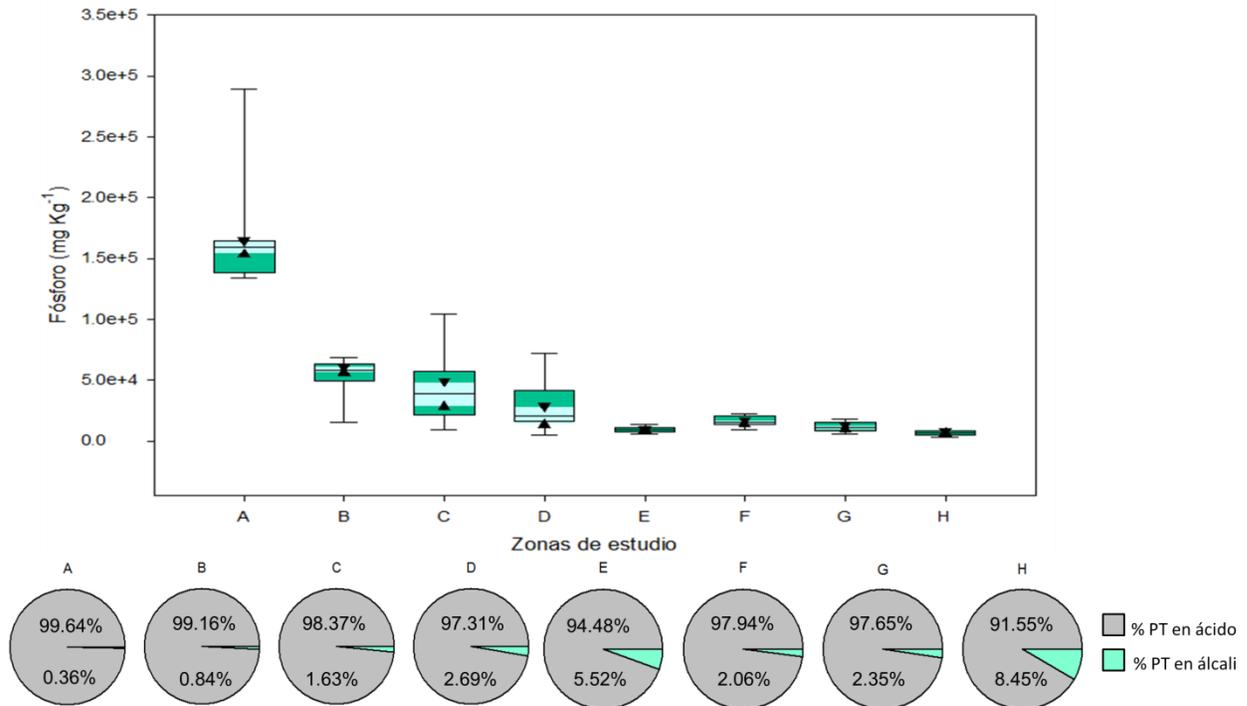
Figura 28: Nitrógeno total en guano sólido y extracto de guano de las diferentes zonas de muestreo en la Isla San Jerónimo. Los símbolos representan las concentraciones promedio de nitrógeno por zona, mientras que las líneas verticales (bigotes) representan el error estándar de la media. La prueba U de Mann-Whitney,  $U=26$ ,  $T=62$ ,  $g.l.=8$ ,  $P=0.574$  muestra que el guano sólido y el extracto de guano No son significativamente diferentes. ( $n=18$ ).

### 3.4.2. Fósforo total (P), fósforo oxidado ( $P_2O_5$ ) y fosfatos ( $PO_4$ )

En relación al fósforo solubilizado, se observó un comportamiento similar a la solubilización del nitrógeno, donde la extracción ácida fue más eficiente que la alcalina para las ocho zonas de estudio. El contenido promedio de fósforo en la fracción ácida fue del 97%.

La concentración mayor de fósforo total correspondió a la zona A de excretas recientes ( $168,461 \text{ mg Kg}^{-1}$ ); esto coincide con un mayor porcentaje de materia orgánica en la zona. La Figura 29 muestra que la concentración de P desciende conforme a la

antigüedad del sedimento (menor contenido de materia orgánica) en las zonas E, F, G y H, con un contenido de P entre 6,600 y 11,600 mg Kg<sup>-1</sup>, aproximadamente.



**Figura 29: Fósforo total en los extractos de guano de las diferentes zonas de muestreo en la Isla San Jerónimo. El área sombreada (caja) representa la distribución de los datos, la línea en medio de la caja representa la mediana, mientras que las líneas verticales (bigotes) representan el valor máximo y el mínimo de P obtenidos con los dos tratamientos (ácido y álcali). La prueba Kruskal-Wallis,  $H=323.587$ , g.l.=7,  $P<0.001$  muestra que las medianas de las zonas son significativamente diferentes. Los símbolos ▲ muestran el intervalo de confianza del 95%. (N= 93).**

La determinación de fósforo oxidado ( $P_2O_5$ ) y fosfatos ( $PO_4$ ) en los extractos ácidos y alcalinos de cada zona de estudio mostró el mismo patrón que el fósforo total, donde la zona A presentó una mayor concentración, mientras las zonas E, F, G y H fueron menores (Tabla 5).

Cabe mencionar, que de las tres especies de fósforo analizado, los fosfatos fueron la especie más abundantes con valores que van de 2 a 51% aproximadamente, posteriormente el fósforo oxidado (1.5 a 39% aproximadamente) y con menor concentración el fósforo total (0.66 – 17% aproximadamente).

**Tabla 5: Concentración en % de fósforo total (P), fósforo oxidado (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y fosfatos (PO<sub>4</sub>) en los extractos de guano de las diferentes zonas de muestreo en la Isla San Jerónimo con su error estándar.**

Zona	No. Muestra	% Fósforo total (P)		% Fósforo oxidado (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )		% Fosfatos (PO <sub>4</sub> )	
		Promedio	Error Std.	Promedio	Error Std.	Promedio	Error Std.
A	51	16.85	0.69	38.82	1.60	51.02	2.10
B	78	5.17	0.21	11.90	0.49	15.64	0.64
C	30	4.57	0.59	10.53	1.35	13.84	1.77
D	27	2.97	0.40	6.83	0.93	8.98	1.22
E	93	0.97	0.03	2.24	0.08	2.95	0.11
F	69	1.61	0.06	3.72	0.14	4.88	0.18
G	54	1.20	0.06	2.76	0.15	3.63	0.19
H	42	0.66	0.03	1.52	0.07	2.00	0.09

### 3.4.3. Potasio (K) y óxido de potasio (K<sub>2</sub>O)

Hubo una mejor extracción con el tratamiento alcalino que con el ácido. Las muestras de la zona A presentan la mayor concentración de potasio total (K) (lixiviado ácido más lixiviado alcalino) 569 mg Kg<sup>-1</sup> y 686 mg Kg<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, mientras que las demás zonas no muestran diferencias en su contenido de potasio y óxido de potasio (Tabla 6).

**Tabla 6. Determinación de potasio (K) y oxido de potasio (K<sub>2</sub>O) en muestra tratadas con ácido y álcali de las Isla San Jerónimo.**

Zonas	Tratamiento ácido		Tratamiento alcalino	
	mg Kg <sup>-1</sup> K	mg Kg <sup>-1</sup> K <sub>2</sub> O	mg Kg <sup>-1</sup> K	mg Kg <sup>-1</sup> K <sub>2</sub> O
A	221.57	266.95	348.18	419.49
B	98.74	118.97	141.67	170.69
C	95.62	115.20	139.44	168.00
D	93.16	112.24	135.51	163.27
E	88.78	106.97	125.11	150.73
F	93.64	112.82	140.46	169.23
G	85.42	102.92	136.67	164.67
H	90.86	109.47	134.13	161.60

### 3.5. Caracterización de cenizas

Muestras de las diferentes zonas se incineraron (cenizas). Al aplicar los mismos procesos de lixiviación, se observó un comportamiento de solubilidad similar al obtenido en las muestras de guano originales (U Mann-Whitney,  $U = 25$ ,  $T = 75$ ,  $g.l. = 8$   $P = 0.505$  No hay diferencias significativa), donde el % de solubilidad disminuye conforme aumenta el contenido de material inorgánico, en relación al contenido de compuestos orgánicos presentes en las muestras originales (Figura 30).

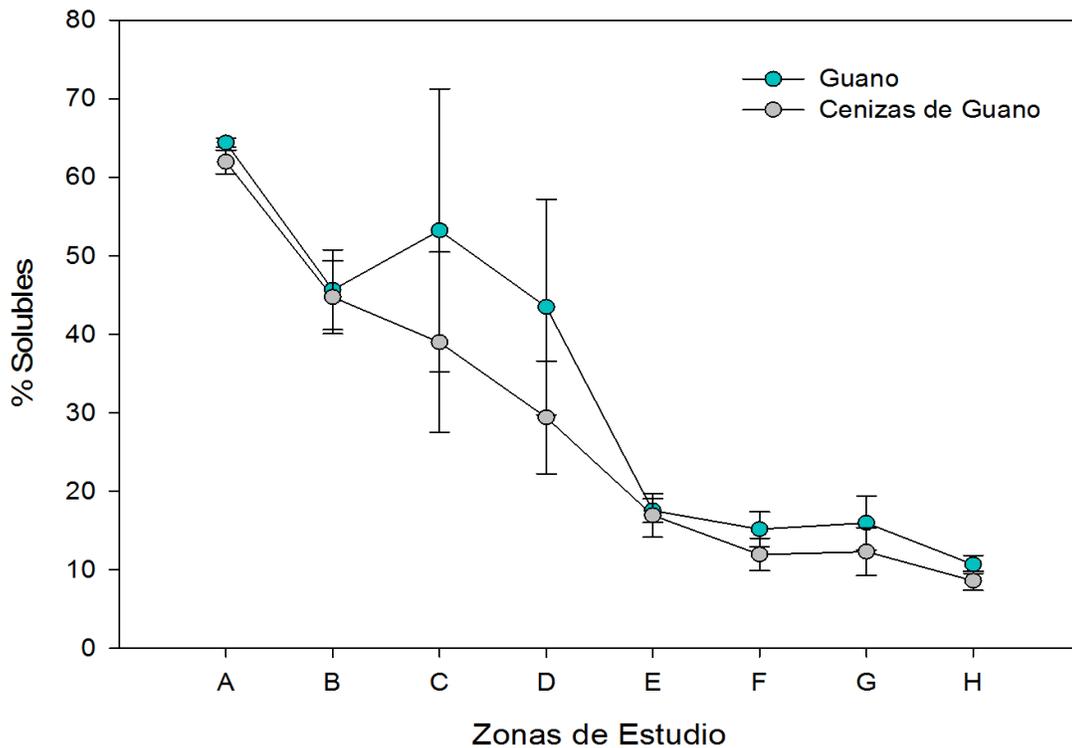
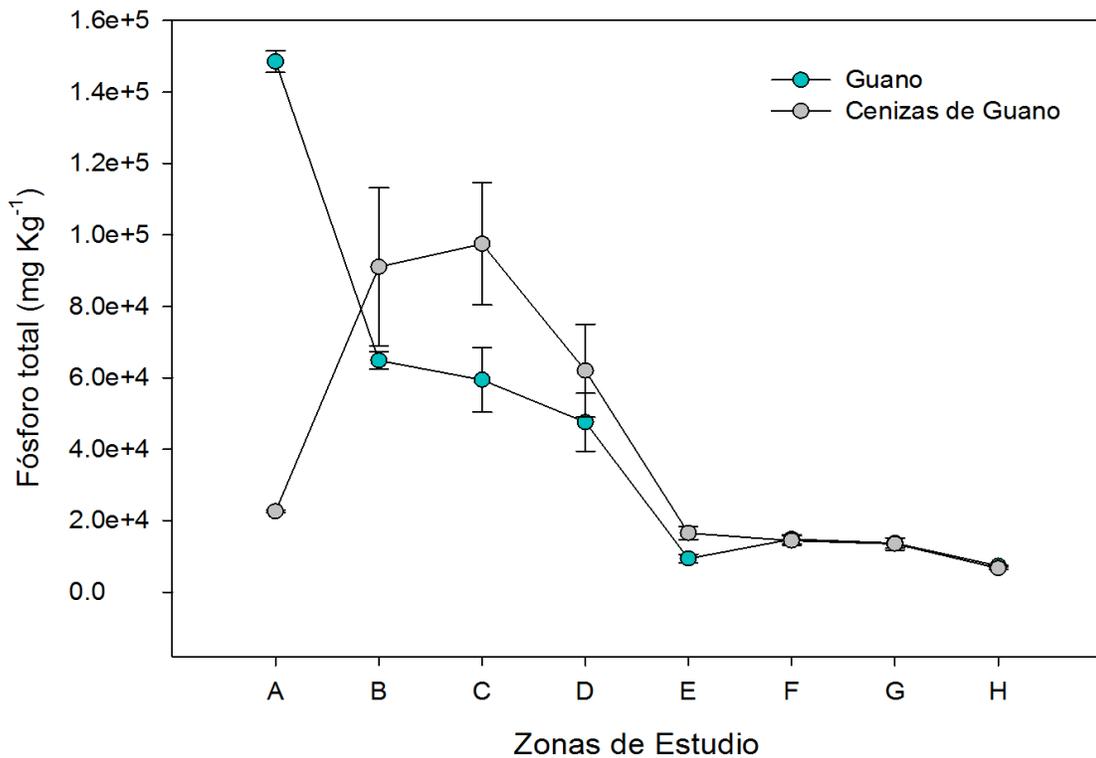


Figura 30: Porcentaje promedio de material solubilizado en muestras de guano y cenizas de guano después de aplicar el método de extracción ácida y alcalina con su error estándar de la media. El análisis se hizo con 3 muestras al azar de cada zona con sus tres réplicas.

Por otra parte, la Figura 31 muestra la concentración de fósforo total extraído en el guano y en las cenizas de guano. De acuerdo a la estadística de U Mann-Whitney ( $U=31$ ,  $T=67$ ,  $g.l.=8$   $P=0.959$ ) no existe diferencia significativa entre las concentraciones obtenidas en los dos tipos de muestras. Sin embargo, en la figura se puede observar que en las zonas B, C y D hay más fósforo en las cenizas que en el guano.



**Figura 31:** Concentración de fósforo total promedio en muestras de guano y cenizas de guano después de aplicar el método de extracción ácida y alcalina con su error estándar de la media. La estadística de U Mann-Whitney,  $U=31$ ,  $T=67$ ,  $g.l.=8$   $P=0.959$ , nos dice que no son significativamente diferentes. El análisis se hizo con 3 muestras al azar de cada zona con sus tres réplicas.

### 3.6. Preparación de extracto de guano para pruebas en campo

Una vez estandarizado el método de extracción (Figura 10), se produjeron 40 L de extracto a partir de 1 Kg de guano joven (Zona B) y 1 Kg de guano fósil (Zona F) en cada caso fueron tratados con ácido (Cítrico ( $C_6H_8O_7$ ), o ácido acético ( $CH_2COOH$ )) e hidróxido de potasio (KOH) (Figuras 32 y 33).



Figura 32. Lixiviado con  $CH_2COOH$  y KOH. Cubetas 1 (alcalino) y 2 (ácido) guano joven. Cubetas 3 (alcalino) y 4 (ácido) guano fósil.



Figura 33. Lixiviado con  $C_6H_8O_7$  y KOH. Cubetas 1 (alcalino) y 2(ácido) guano fósil. Cubetas 3 (alcalino) y 4 (ácido) guano joven.

Se hizo la comparación del contenido de nitrógeno en el guano en polvo antes de ser utilizado y el contenido de nitrógeno en el extracto de guano, para ver la eficiencia del solvente ácido en solubilizar el nitrógeno presente en el material tratado (Tabla 7).

La combinación de la extracción con ácido cítrico e hidróxido de potasio fue la que tuvo una mayor eficiencia en la solubilización del nitrógeno presente en el material inicial

(70% en guano joven y 63% guano fósil), en comparación con la mezcla entre ácido acético e hidróxido de potasio (60% en guano joven y un 54% en guano fósil). Tomando como base los resultados anteriores para las pruebas de campo, se preparó un lote de 40 L de extracto de guano (joven + fósil) los cuales fueron solubilizados con ácido cítrico ( $C_6H_8O_7$ ) e hidróxido de potasio (KOH).

**Tabla 7. Concentración de nitrógeno en guano sólido inicial y en los extractos de guano trabajados con ácido y álcali.**

Guano sólido inicial	% N en guano sólido	Extractos de guano	% N en 20 L de extracto de guano
Guano Fósil	0.3	Guano Fósil Tratado con Ac. Acético y KOH	0.162
		Guano Fósil Tratado con Ac. Cítrico y KOH	0.189
Guano Joven	1.9	Guano Joven Tratado con Ac. Acético y KOH	1.166
		Guano Joven Tratado con Ac. Cítrico y KOH	1.328

### 3.7. Pruebas en campo aplicando el extracto de guano

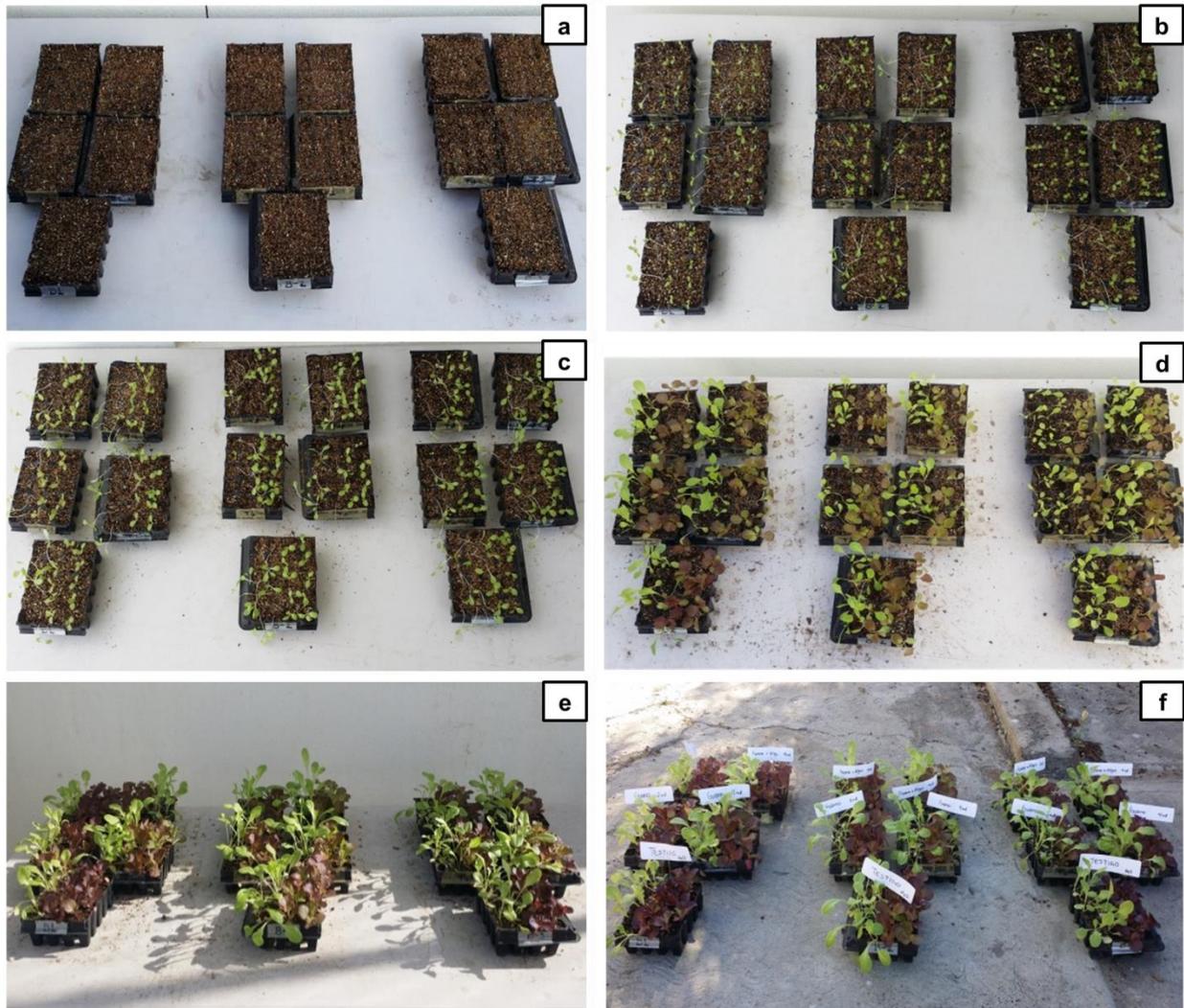
#### 3.7.1. Germinación de semillas y crecimiento de plántulas

Las semillas de lechuga germinaron al tercer día de ser sembradas, desde ese momento se inició el riego con las mezclas 1 (Guano joven y fósil) y 2 (Guano + Algas). A los 36 días de su germinación se hizo el trasplante del almácigo a la estructura (tarima de madera). Durante el proceso hubo una mortalidad promedio del 17% (Tabla 8), donde se observa que las mayor mortalidad se presentó en la combinación Guano+Algas con una dosis de  $2 \text{ mL L}^{-1}$  de  $H_2O$ .

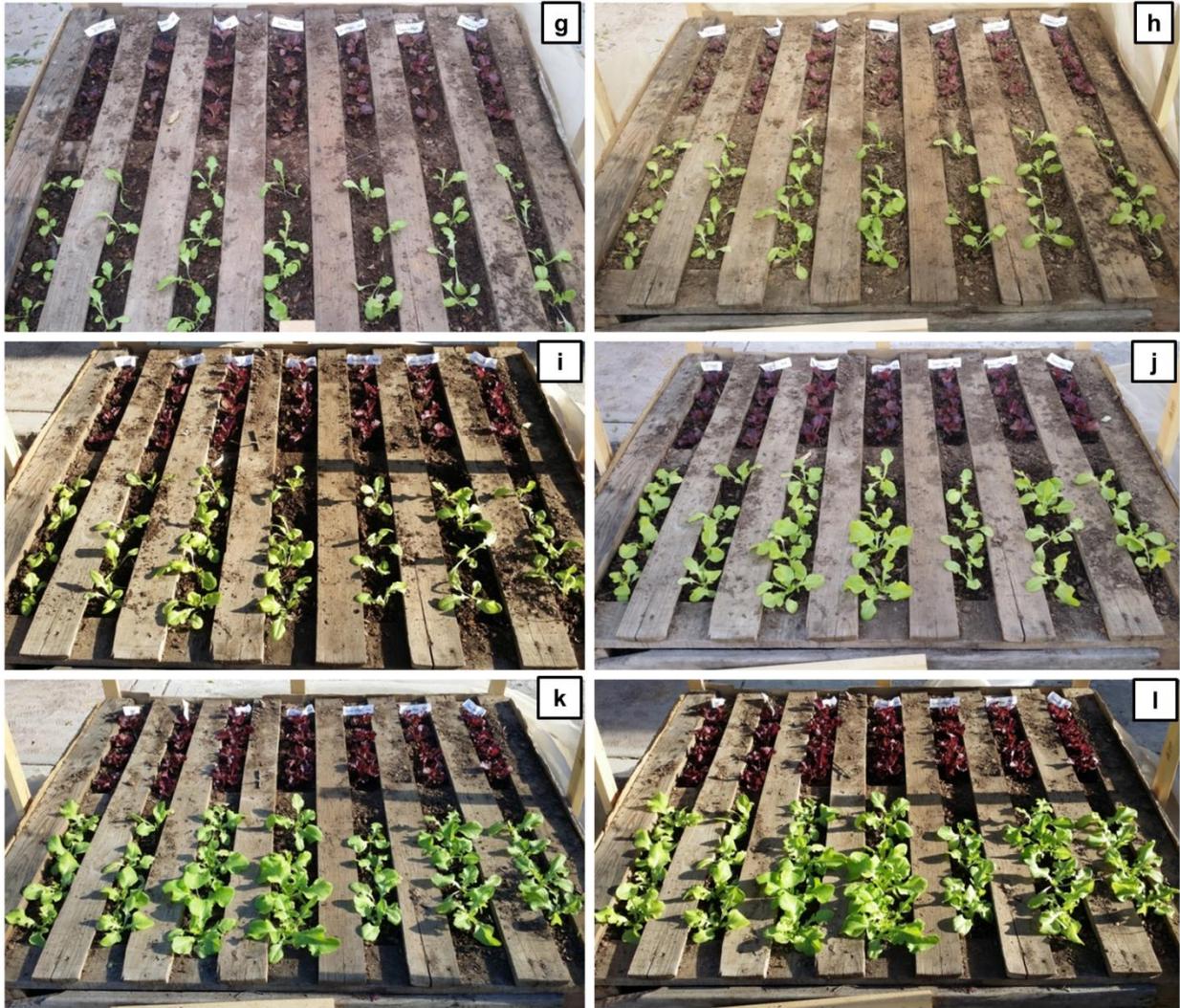
**Tabla 8. Control de supervivencia de plántulas de lechuga durante 36 días de tratamiento con las mezclas 1 (Guano joven y fósil) y 2 (Guano + Algas).**

Tratamientos	Blanco $H_2O$	Guano Joven y Fósil		Guano + Algas	
		$2 \text{ mL L}^{-1} H_2O$	$4 \text{ mL L}^{-1} H_2O$	$2 \text{ mL L}^{-1} H_2O$	$4 \text{ mL L}^{-1} H_2O$
Plántulas vivas	8	8	10	5	8
	10	10	10	7	10
	9	7	7	7	8
	10	9	7	8	9
	8	8	8	8	9
	7	8	10	8	8
% Mortalidad	13.33	16.67	13.33	28.33	13.33

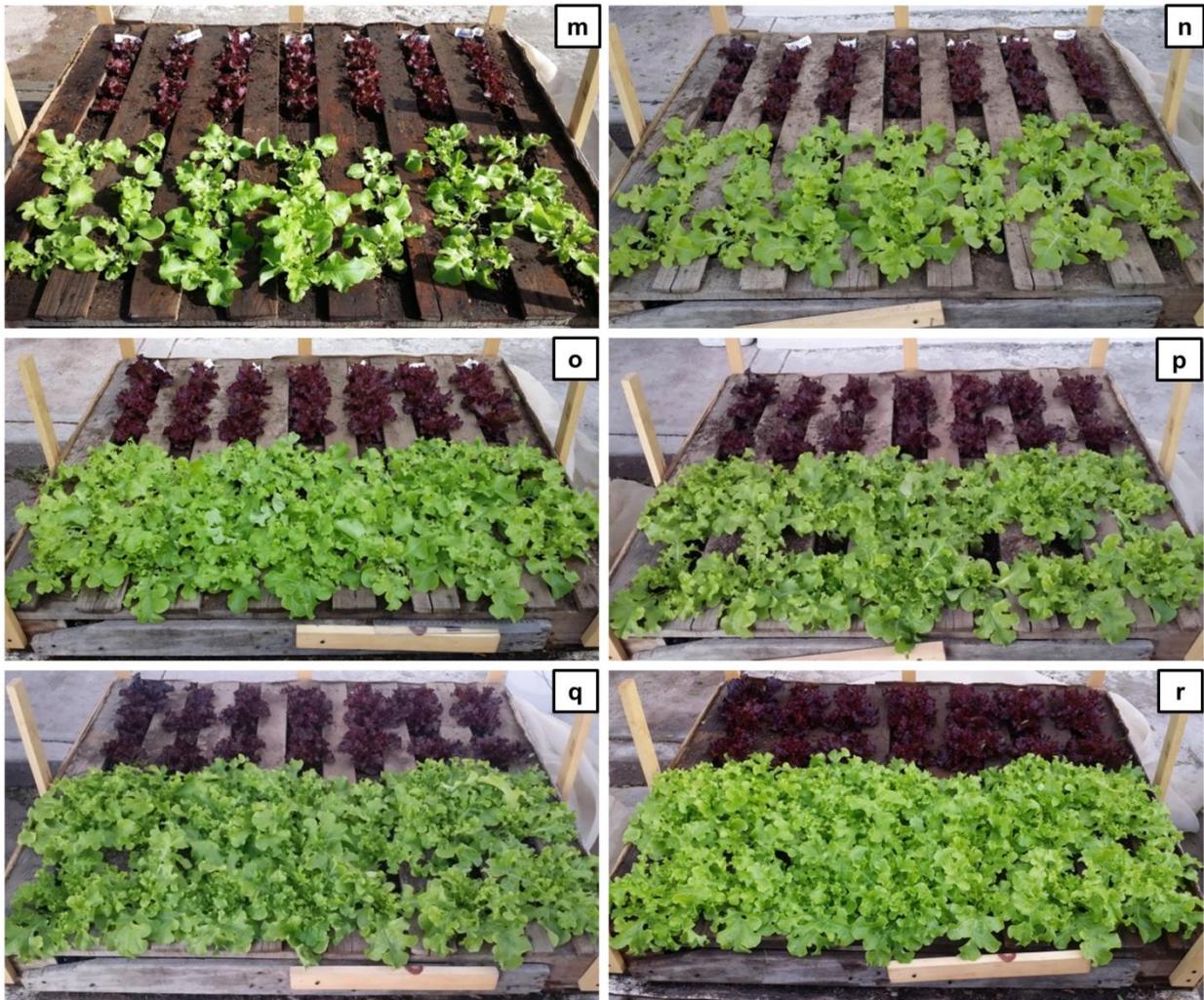
Las Figuras 34, 35, y 36 muestran una serie fotográfica de la prueba en campo desde la germinación hasta el trasplante de las plántulas, regadas con las dos mezclas antes mencionadas, se utilizaron alícuotas de 2mL y 4mL por litro de agua, además del testigo (Revisar Figuras 14 y 15 para ver el acomodo de las plantas y el riego). La Figura 37 muestra las lechugas listas para su consumo.



**Figura 34: Desarrollo de semillas de lechugas (Escarola verde y Lollo rosso) desde su germinación hasta el día del trasplante (36 días). a) Germinación, b) Plántulas con dos hojas, c) Plántulas con cuatro hojas, d) Plántulas con hojas verdaderas, e) Plantas con seis hojas verdaderas, f) Plantas entre 6 y 10 cm de largo, día del trasplante.**



**Figura 35: Crecimiento de plantas de lechugas (Escarola verde y Lollo rosso) después del trasplante, 15 días. g) Inicio de siembra, h) Plantas con hojas de 3 a 5 cm, i) Plantas con hojas de 5 a 7 cm, j) Plantas con hojas de 7 a 10 cm con un retoño, k) Plantas con 2 retoños y hojas de 8 a 12 cm, l) Plantas con hojas 10 a 12 cm.**



**Figura 36: Crecimiento de lechugas (Escarola verde y Lollo rosso) después de 30 días de la siembra. m) Follaje de 10-15 cm de radio, n) Follaje de 15-20cm de radio, o) Follaje de 20-25 cm de radio, p) Desgajo de 4 lechuga por especie, q) Follaje de 25-30 cm de radio, r) Follaje de 30 a 35 cm de radio.**



**Figura 37: Demostración del efecto positivo al agregar extracto de guano en cultivo de lechugas (Escarola verde y Lollo rosso) después de 60 días de la siembra. Imagen superior: Último día de toma de fotos. Imagen inferior: Otro ángulo con acercamiento.**

### 3.7.2. Características morfológicas de lechugas cultivadas

Cuando se hizo el trasplante y al mes de haber iniciado la prueba de campo, se hizo un lavado de raíz en las dos especies de lechuga, para observar su crecimiento, su estructura y la textura del sedimento. Las lechugas que fueron tratadas (1=Guano y 2=Guano + Algas) mostraron mayor abundancia de raíz, buena ramificación de raíces absorbentes (vellosidad), buena salud, la estructura del sedimento presentó textura porosa y húmeda. En el caso de las lechugas testigo, su raíz fue menor, sin embargo, el sedimento presentó las mismas condiciones que las tratadas con los extractos (Figuras 38 y 39. Desafortunadamente no se tienen suficientes datos para análisis estadístico.

Las lechugas se pesaron 62 días después de la siembra y el peso de las lechugas de la especie Escarola verde fue mayor (24 gr promedio) en comparación a Lollo rosso (8 gr promedio) esta diferencias probablemente esté relacionada a la especie de lechuga. También, se realizó un balance de la fronda con respecto a la raíz, donde se observó que el porcentaje de fronda de los tratamiento de guano y guano + algas en dosis de 4 mL es similar a los demás tratamientos, sin embargo, las diferencias se observan en la raíz, la cual es mayor comparada a la dosis de 2 mL y al testigo (Tabla 9). **Tabla 9. Balance entre el peso con respecto a fronda y raíz en muestras de lechugas Escarola verde y Lollo rosso fertilizadas con dos mezclas: 1) Guano y 2) Guano + Algas.**

<b>Escarola verde</b>					
Tratamientos →	Blanco	Guano Joven y Fósil		Guano + algas	
		2 mL	4 mL	2 mL	4 mL
<b>Peso de Lechugas (gr)</b>	17.60	22.70	42.50	16.00	24.70
<b>% Comparativo con respecto al peso max.</b>	<b>41.41</b>	<b>53.41</b>	<b>100.00</b>	<b>37.65</b>	<b>58.12</b>
<b>% Fronda</b>	90.68	87.53	85.27	90.00	81.62
<b>% Raíz</b>	9.32	12.47	14.73	10.00	18.38
<b>Lollo rosso</b>					
Tratamientos →	Blanco	Guano Joven y Fósil		Guano + algas	
		2 mL	4 mL	2 mL	4 mL
<b>Peso de Lechugas (gr)</b>	7.30	8.00	10.05	9.40	9.10
<b>% Comparativo con respecto al peso max.</b>	<b>72.64</b>	<b>79.60</b>	<b>100.00</b>	<b>93.53</b>	<b>90.55</b>
<b>% Fronda</b>	83.84	86.25	69.25	80.21	73.96
<b>% Raíz</b>	16.16	13.75	30.75	19.79	26.04



**Figura 38: Plántulas de lechugas (Escarola verde y Lollo rosso). Mayor crecimiento radicular en lechugas regadas con guano y guano + algas. Las lechugas regadas con mayor concentración (4 mL) presentan mayor crecimiento en follaje en comparación con los otros tratamientos.**



Figura 39: Lavado de raíz de lechugas (Escarola verde (superior) y Lollo rosso (inferior)) realizado 30 días después del trasplante. De izquierda a derecha se encuentra a) testigo, b) guano 2mL, c) guano 4mL, d) guano + algas 2mL y e) guano + algas 4mL.

### 3.7.2.1. Número de hojas

El crecimiento de las hojas es exponencial, la escarola verde tiene en promedio 2 hojas nuevas por día, en comparación de la lechuga roja, que muestra un crecimiento de hojas más lento (1 cada dos días) (Figura 40).

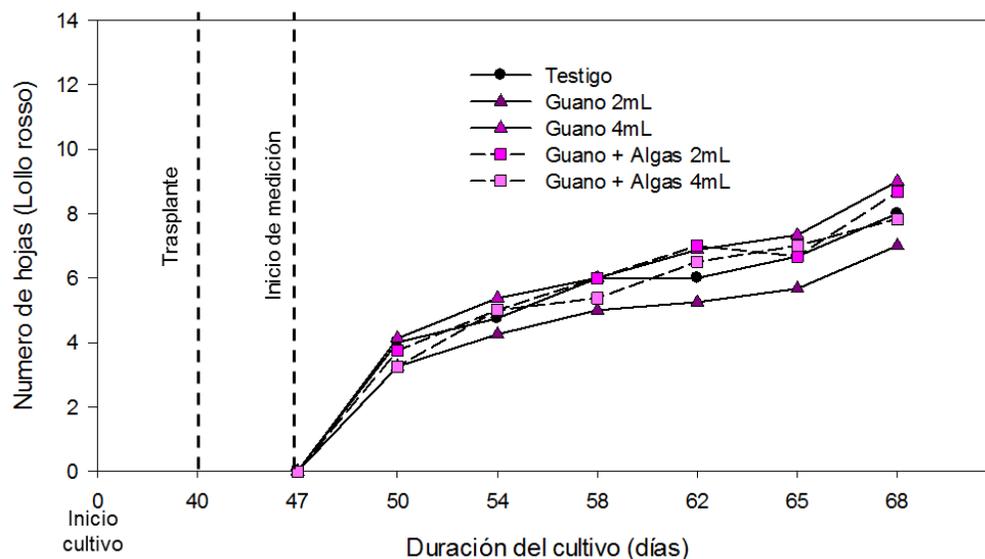
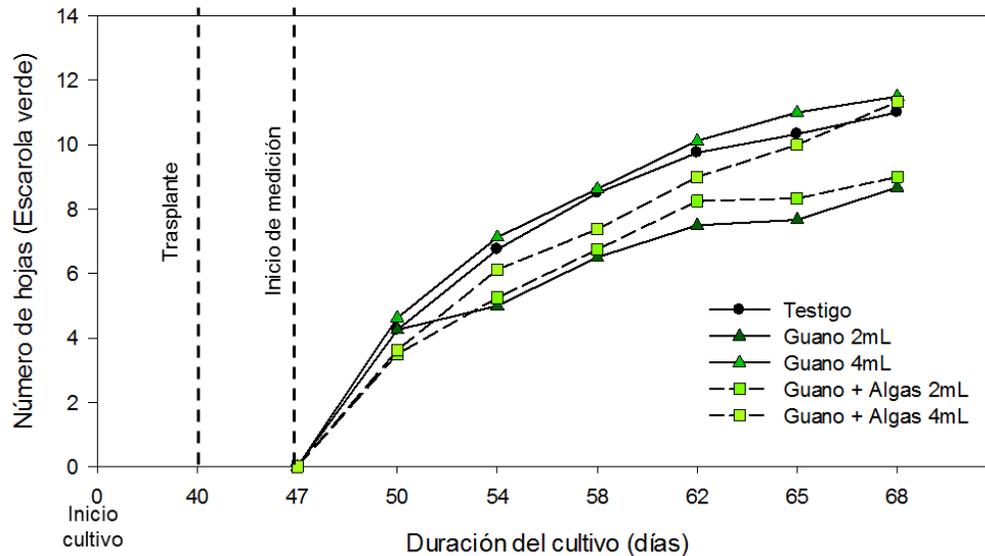


Figura 40: Conteo de número de hojas. Figura superior; Escarola verde, la prueba Kruskal-Wallis,  $H=14.606$ ,  $g.l.=4$ ,  $P=0.006$  muestra que las medianas de los tratamientos son significativamente diferentes. Figura inferior; Lollo rosso, la prueba Kruskal-Wallis,  $H=6.022$ ,  $g.l.=4$ ,  $P=0.197$  muestra que las medianas de los tratamientos no son significativamente diferentes, el aumento de número de hojas es igual con todos los tratamiento.

### 3.7.2.2. Ancho y largo de hojas

El largo y ancho de las hojas tiene un comportamiento exponencial. Escarola verde creció aproximadamente 2.5 a 3 cm por día, lollo rosso creció 1.5 a 2 cm por día. Las Figuras 41 y 42 muestran que las hojas de escarola verde crecieron de largo 18 cm y de ancho 10 cm en promedio durante el ensayo, Lollo rosso creció en promedio 10 cm a lo largo y 9 cm a lo ancho.

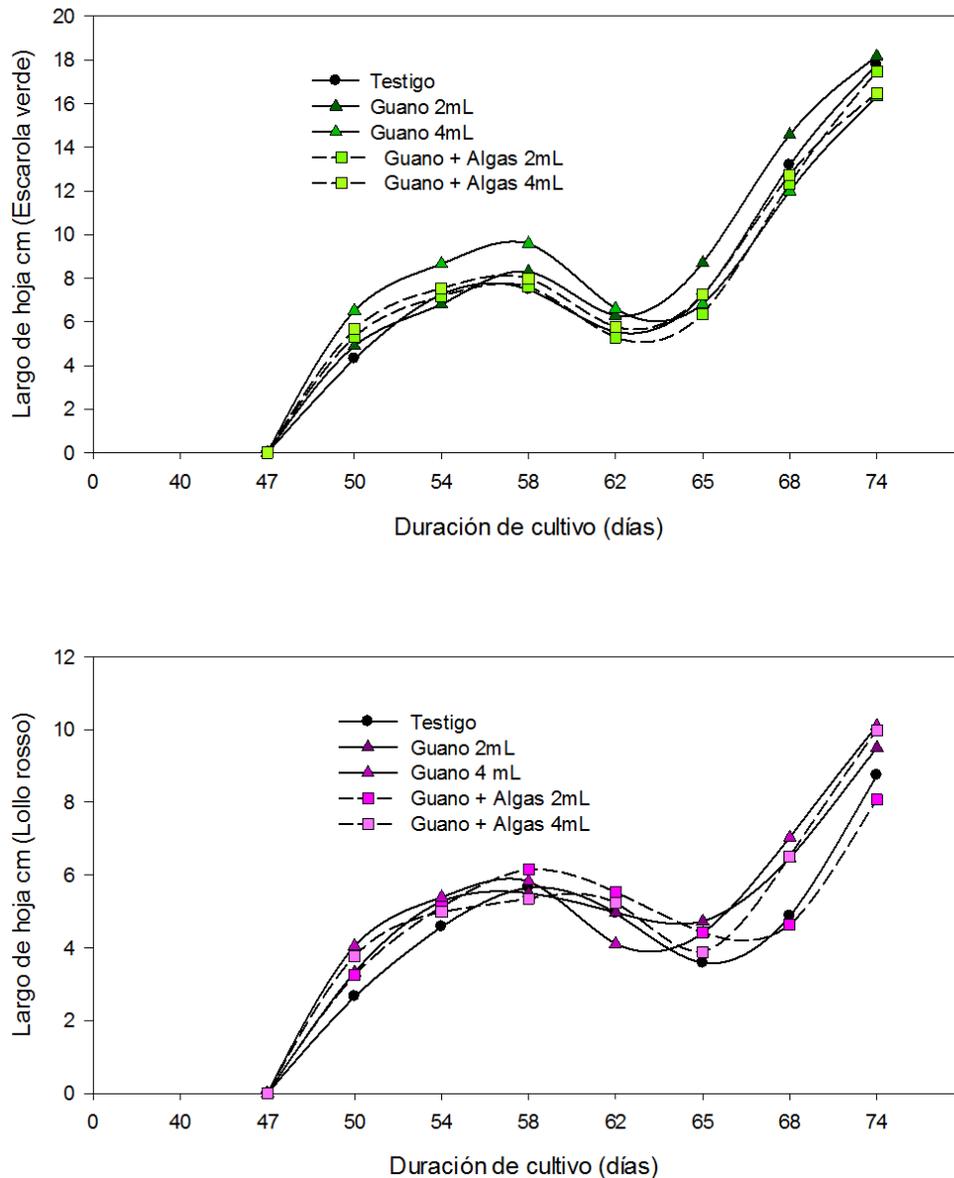


Figura 41: Largo de hoja. Figura superior; Escarola verde, la prueba Kruskal-Wallis,  $H=1.359$ ,  $g.l.=4$ ,  $P=0.851$  muestra que las medianas de los tratamientos no son significativamente diferentes. Figura inferior; Lollo rosso, la prueba Kruskal-Wallis,  $H=4.664$ ,  $g.l.=4$ ,  $P=0.324$  muestra que las medianas de los tratamientos no son significativamente diferentes en el largo de las hojas.

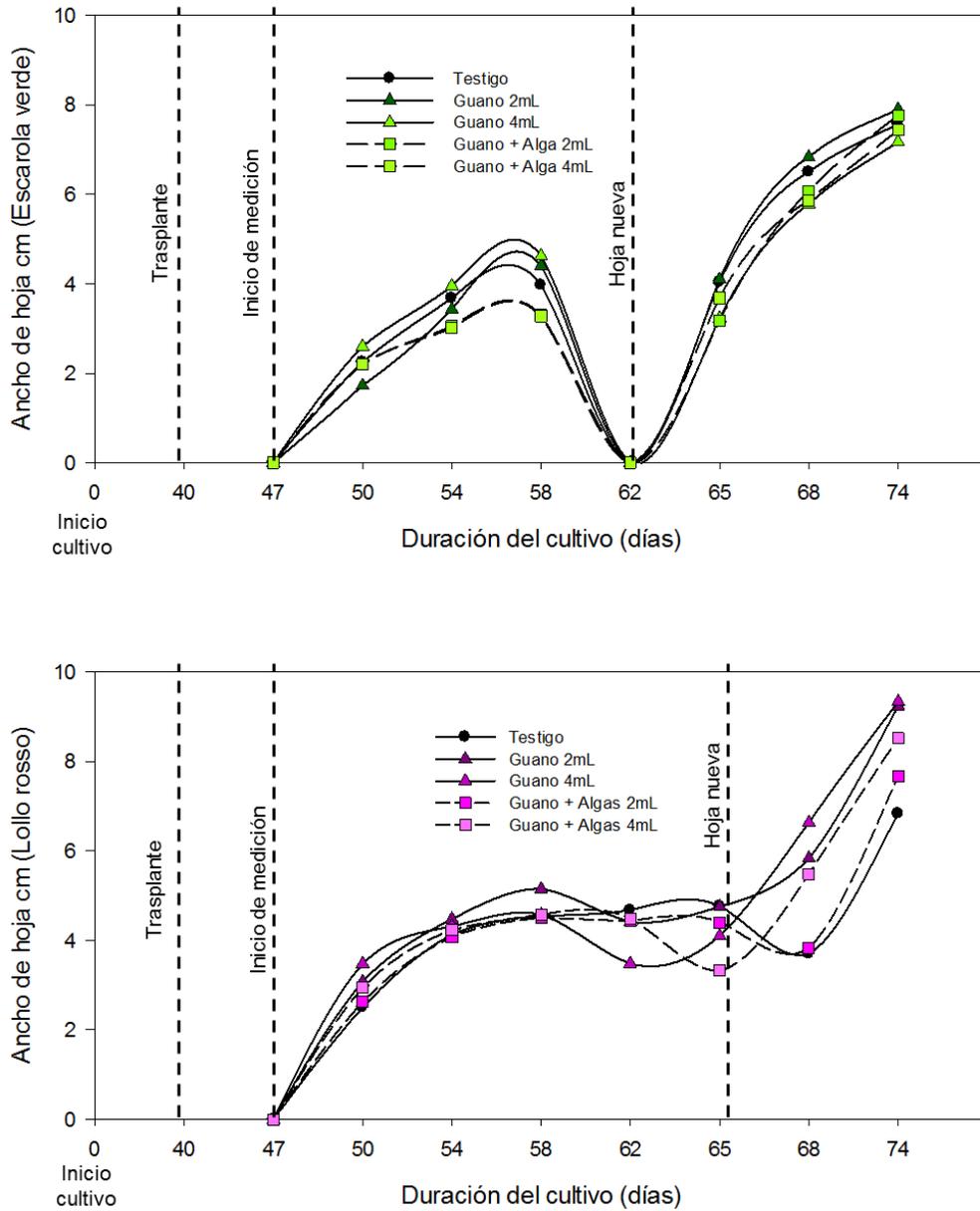


Figura 42: Ancho de hoja. Figura superior; Escarola verde, la prueba Kruskal-Wallis,  $H=2.082$ ,  $g.l.=4$ ,  $P=0.721$  muestra que las medianas de los tratamientos no son significativamente diferentes. Figura inferior; Lollo rosso, la prueba Kruskal-Wallis,  $H=1.155$ ,  $g.l.=4$ ,  $P=0.886$  muestra que las medianas de los tratamientos no son significativamente diferentes en el ancho de las hojas.

### 3.7.2.3. Radio de follaje

También se midió el radio del follaje (Figura 43), y se observa que el crecimiento de la escarola verde sigue en aumento llegando a su fase estacionaria arriba de los 25 cm promedio de fronda. En el caso de Lollo rosso, las lechugas tiene un crecimiento más lento, su radio de fronda llegó a 18 cm en promedio, pero en el presente experimento no llegó a su fase estacionaria.

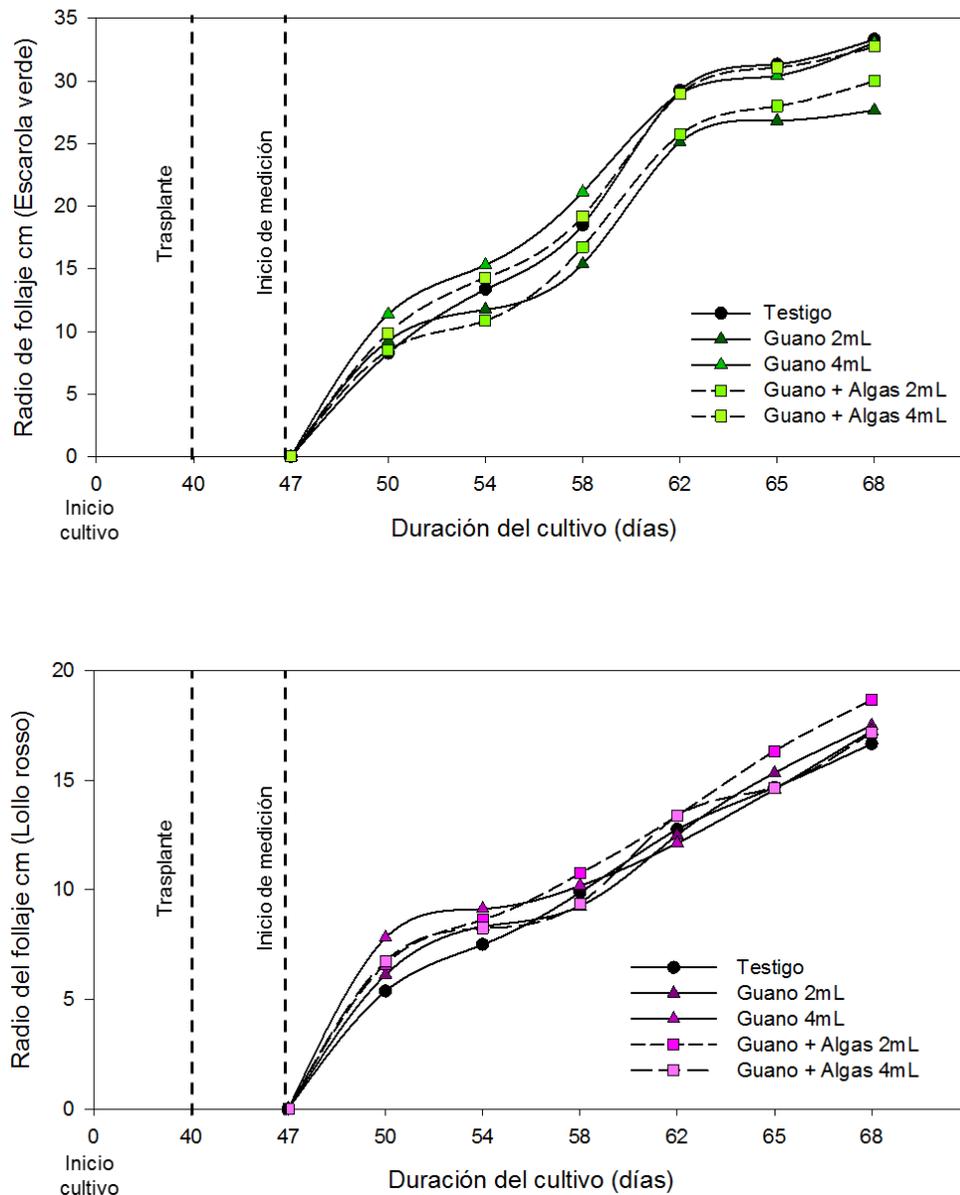


Figura 43: Radio de follaje. Figura superior; Escarola verde, la prueba Kruskal-Wallis,  $H=6.295$ ,  $g.l.=4$ ,  $P=0.178$  muestra que las medianas de los tratamientos no son significativamente diferentes. Figura inferior; Lollo rosso, la prueba Kruskal-Wallis,  $H=1.451$ ,  $g.l.=4$ ,  $P=0.835$  muestra que las medianas de los tratamientos no son significativamente diferentes en el radio de la fronda.

### 3.8. Análisis microbiológico en extracto de guano

El análisis microbiológico realizado a dos muestras del extracto de guano utilizado en el ensayo de campo para fertilizar las lechugas, resultaron negativos para coliformes fecales, *Escherichia coli* y *Salmonella*.

Resultó positivo para coliformes no fecales con 30 UFC/100. Considerando el origen del extracto y si tomamos como límite lo que marca la NOM-003-SEMARNAT-1997 y los criterios ecológicos de calidad del agua (ce-cca-001/89), el máximo es de 1000 UFC/gr de coliformes no fecales (Sarabia-Meléndez *et al.*, 2011). El extracto tiene un valor 30 veces menor a lo establecido en la NOM-003-SEMARNAT-1997 (Figura 44).

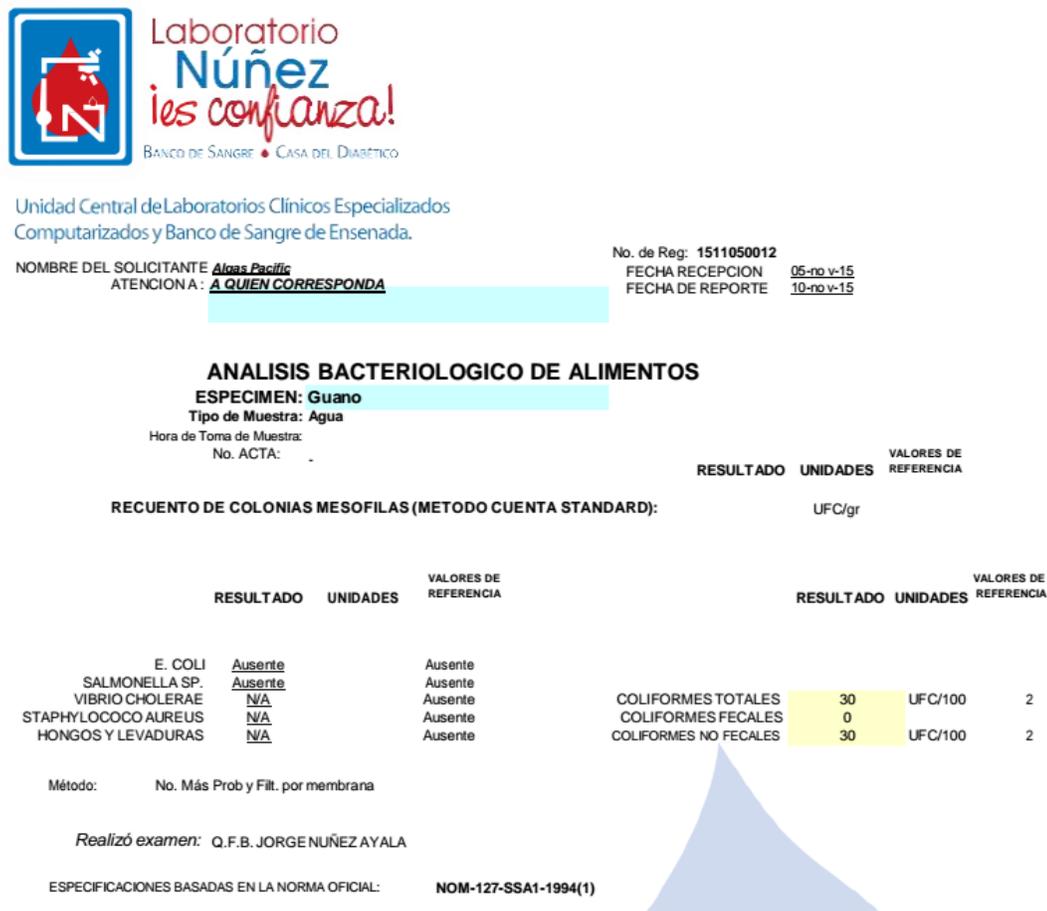


Figura 44: Reporte de análisis bacteriológico realizado al extracto de guano que se utilizó en el ensayo de producción de lechugas.

El análisis de las hojas de lechuga para conocer si hay una transferencia de bacterias del producto a la hortaliza, mostró que la lechuga contiene 150 UFC/gr de coliformes no

fecales, valor que de acuerdo a la NOM-093-SSA1-1994 para ensaladas verdes, se encuentra por debajo del rango (150000 UFC/gr) (Figura 45).



**Laboratorio  
Núñez**  
*¡es confianza!*  
BANCO DE EMERGENCIAS ADI72 62 21

Unidad Central de Laboratorios Clínicos Especializados  
Computarizados y Banco de Sangre de Ensenada.

Internet: <http://www.laboratorionunez.mx>  
e-mail: [clientes@laboratorionunez.mx](mailto:clientes@laboratorionunez.mx)

No. de Reg: 1511050013  
FECHA RECEPCION 05-nov-15  
FECHA DE REPORTE 10-nov-15

NOMBRE DEL SOLICITANTE Algas Pacific  
ATENCIÓN A: A QUIEN CORRESPONDA

### ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO DE ALIMENTOS

**ESPECIMEN:** Escarola verde  
**Tipo de Muestra:** Estab.fijos(Ensaladas Verdes,crudas)  
Hora de Toma de Muestra:  
No. ACTA:

	RESULTADO	UNIDADES	VALORES DE REFERENCIA		RESULTADO	UNIDADES	VALORES DE REFERENCIA
RECuento DE COLONIAS MESOFILAS (METODO CUENTA STANDARD):	200	UFC/gr	150000				
E. COLI	<u>Ausente</u>		Ausente				
SALMONELLA SP.	<u>Ausente</u>		Ausente				
VIBRIO CHOLERAEE	<u>N/A</u>		Ausente	COLIFORMES TOTALES	150		
STAPHYLOCOCO AUREUS	<u>N/A</u>		Ausente	COLIFORMES FECALES	0	UFC/gr	100
HONGOS Y LEVADURAS	<u>N/A</u>		Ausente	COLIFORMES NO FECALES	150		

Método: Recuento en Placa

Realizó examen: Q.F.B. JORGE NUÑEZ AYALA

ESPECIFICACIONES BASADAS EN LA NORMA OFICIAL: NOM-093-SSA1-1994 (4)



**Figura 45: Reporte de análisis bacteriológico realizado en muestras de lechugas (Escarola verde), regadas con extracto de guano.**

## 4. Discusión

---

La península de Baja California se encuentra en el noroeste de México sobre el trópico de Cáncer (latitud 23°27' N), y se caracteriza por tener influencias oceánicas y atmosféricas que determinan su clima árido o semiárido (Zavala, Contreras, Belda, y Rivera, 2009). Esto se debe principalmente a la celda de alta presión del hemisferio norte que genera cielos despejados, con vientos ocasionales, con escasez de lluvias, donde la evaporación es mayor que la precipitación (García Amaro de Miranda, 2003). Por otra parte, la corriente de California transporta agua subártica del Pacífico, la cual es fría y rica en nutrientes; además, ocurren fenómenos de surgencia; esto hace que la región sea de alta productividad biológica (Tyler, Briggs, Lewis, and Ford, 1993; Lluch-Belda, Lluch-Cota, and Lluch-Cota, 2003). Debido a la alta productividad, en esta región se desarrollan importantes pesquerías (atún, sardina, anchoveta, macarela, etc.), alimento para diferentes especies endémicas y migratorias que buscan en nuestras costas refugio y alimento (mamíferos marinos y aves marinas, entre otros). En particular, diversas especies de aves marinas habitan de forma permanente o temporal en las costas e Islas de Baja California (Tyler *et al.*, 1993; Ainley *et al.*, 2005), donde generalmente su dieta es exclusiva de especies de origen marino (Anderson and Polis, 1999; Riddick *et al.*, 2014), como la anchoveta y la sardina, cuyos tejidos son altos en nitrógeno (2.30%) y fósforo (1.70%) (Calzada-Benza, 1959).

Durante el tiempo de residencia de aves y mamíferos marinos en las Islas, ocurre una gran acumulación de desechos, tanto provenientes de las excretas de las aves como de los mamíferos marinos que las habitan. También se acumulan alimentos no consumidos, osamentas, plumas, organismos muertos, cascarones de huevos, entre otros compuestos orgánicos; todos estos componentes en conjunto contribuyen en la formación de depósitos de guano (Ellis, 2005; Ellis, Fariña and Witman, 2006). Una vez depositados en el suelo, sobre estos desechos actúan diferentes procesos fisicoquímicos, tales como el intemperismo, la oxidación y la actividad de bacterias y hongos que paulatinamente degradan la materia orgánica, contribuyendo al proceso de mineralización de nutrientes presentes en los desechos (Ellis *et al.*, 2006; Chapin III, Matson, and Vitousek, 2011; Riddick *et al.*, 2014); por lo que a largo plazo los depósitos

modifican la composición química del suelo, desde su porcentaje de humedad hasta variación en el pH (Wait, Aubrey and Anderson, 2005; Ellis *et al.*, 2006).

Es importante mencionar que durante este proceso de generación de guano, existen factores importantes que son determinantes, entre el más importante son las excretas de las aves y mamíferos marinos. Si se compara las especies productoras de guano del Perú con las de la Isla San Jerónimo, existe una relación en las familias de aves, principalmente los cormoranes (*Phalacrocoracidae*) y pelícanos (*Pelecanidae*), las cuales se alimentan principalmente de especies de pelágicos menores (mesopelágicos) como la sardina y anchoveta, y algunos crustáceos o cefalópodos (Jahncke y Goya, 1998; Ainley *et al.*, 2005; Szpak, *et al.*, 2012).

La alimentación parece ser similar en dichas especies, sin embargo, es importante considerar el ambiente donde se desarrolla la cadena trófica para cada zona. Es bien sabido que las Islas del Perú tienen una gran afluencia de nutrientes por la corriente de Humboldt, la cual es una región de surgencias con la mayor producción de biomasa de peces en el mundo (Bakun y Broad, 2003; Chávez *et al.*, 2008 citado por Szpak, *et al.* 2012). En este ecosistema se alimentan grandes poblaciones de aves marinas que anidan en la zona costera. En comparación, la Isla San Jerónimo en Baja California, se encuentra en el área de influencia de la corriente de California, donde en similitud con las costas de Perú, también ocurren surgencias frecuentes, haciendo de esta región un ecosistema propicio para la alta producción de alimento para peces (Tyler *et al.*, 1993; Lluch-Belda *et al.*, 2003; CONANP, 2005; Ainley *et al.*, 2005).

Por tanto, para la generación de depósitos de guano y su riqueza de nutrientes, es importante considerar las especies de animales que lo producen, así como su alimentación, ya que esta es la fuente principal de nutrientes como nitrógeno y fósforo, entre otros (Loder *et al.*, 1996; Hutchinson 1950 citado por Anderson and Polis, 1999; Palomo, Iribarne, and Martínez, 1999; Wait *et al.*, 2005; Ellis *et al.*, 2006). Los desechos consisten de excretas, alimentos no consumidos y demás materiales depositados, los cuales desde el momento en que son depositados comienzan a actuar sobre ellos diferentes factores, desde biológicos como la acción de hongos y bacterias; factores químicos como procesos de óxido-reducción, así como factores físicos tales como lluvia, el viento y la temperatura que contribuyen en el proceso de intemperización del

material, los cuales todos en conjunto contribuyen a la descomposición de la materia orgánica y a la mineralización de los nutrientes; todo este proceso desde su depositación por aves y mamíferos marinos hasta su transformación en depósitos de nutrientes (mineralización) que pueden ser aprovechados por las plantas, le llamaremos biogénesis del guano (Figura 46).

De acuerdo a lo reportado por Raimondi (1926); Cancino (1960); Loder, Ganning and Love (1996); Blackall *et al.* (2008) y Riddick *et al.* (2014), el nitrógeno presente en las excretas se encuentra principalmente en forma de ácido úrico. Sin embargo, bajo condiciones aerobias con ayuda de colonias de *Azotobacter*, *Clostridium* y *Micrococcus ureae*, se transforma rápidamente en nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_3$ ), que posteriormente las bacterias nitrificantes (*Nitrosomas*) y desnitrificantes (*Nitrobacter*) (Carmen-Cuba, 1955; Cancino, 1960) producen nitratos que regresan a través de escorrentía a las aguas costeras (Loder *et al.*, 1996) o son utilizados por la flora asociada, aumentando su abundancia ( Palomo, *et al.*, 1999; Wait *et al.* 2005; Ellis *et al.*, 2006; Wright *et al.*, 2010).

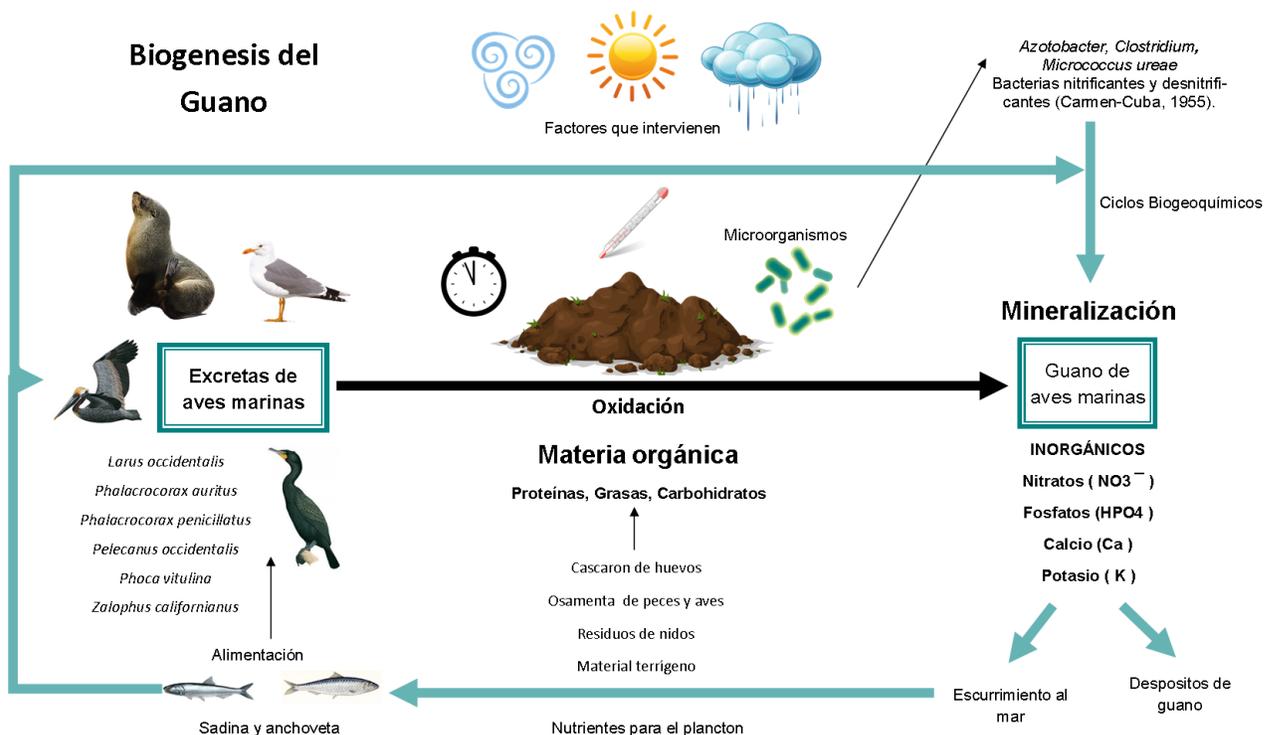


Figura 46. Biogénesis de guano de aves y mamíferos marinos.

De acuerdo a los resultados de este estudio, el guano de la Isla San Jerónimo, por su textura puede clasificarse en tres tipos; el primero Guano fresco, consistente en material reciente producido por las deyecciones de aves y mamíferos marinos, el segundo formado por depósitos de antigüedad mayor a un mes y menor a 3 años denominado Guano joven y un tercer tipo consiste en depósitos mayores a 3 años de antigüedad, el cual llamamos Guano fósil; esto en concordancia con los estudios Mariano De Rivero (1827), quien menciona que hay guano en tres variedades: el rojo, el parduzco y el blanco; donde el color difiere según el tiempo que este expuesto a la atmósfera; el guano blanco cambia a rojo, y el rojo a parduzco. Describe al guano blanco con una composición similar al guano rojo; la diferencia es que el guano blanco aún no está mezclado completamente con arena, su olor no es tan fuerte porque no ha sufrido una descomposición, es más ligero y tiene un menor contenido de cenizas, mientras que el guano rojo lo describe con un olor amoniacal.

Por tanto, la clasificación inferida para los tres tipos de guano encontrados en la Isla San Jerónimo, tendríamos una equivalencia de términos entre el guano fresco y el guano blanco, el guano joven y el guano rojo, así como el guano fosilizado con el parduzco.

En función de esta propuesta de clasificación del guano, los depósitos con el mayor contenido de humedad (zona A), corresponden a guano fresco, mientras que las zonas A, B, C, D y E, correspondió a zonas de guano joven (Figura 19). En contraste, las zonas F, G y H presentan el menor porcentaje de humedad (20%), pero con un mayor contenido de cenizas (Figura 20) corresponden a zonas de guano fósil. De acuerdo al estudio realizado por Wait *et al.* (2005) en el Golfo de California, las Islas con presencia habitual de aves marinas tienden a aumentar la humedad del suelo. Esto se atribuye a las constantes deyecciones y la constante depositación de desechos no digeridos, lo que ocasiona el aumento de la materia orgánica, dicha atribución se corrobora con las muestras de las mismas zonas, que contienen las mayores concentraciones de materia orgánica. Esta tendencia se puede relacionar con el proceso de intemperización; conforme transcurre el tiempo avanza la descomposición de la materia orgánica y se aumenta la concentración de minerales.

Por otra parte, el pH es también una variable que se modifica en función del tiempo transcurrido desde su depositación, las zonas B, C, D, E, F y G tienden a tener un pH ligeramente ácido (6 - 6.5), mientras que las muestras de la zona A tuvieron un pH alcalino (8.5 en promedio). Wait *et al.* (2005), en su estudio encontró un comportamiento de pH opuesto a nuestras observaciones ya que en las Islas con presencia de aves encontraron un pH de 6.49, mientras que las Islas sin aves se tuvo un pH de 7.36 (neutro).

El contenido de nitrógeno (N) y fósforo (P) en el guano varía en razón inversa al tiempo de depositación; en el guano fresco se presentaron las concentraciones más altas de nitrógeno (3.4%) y fósforo (16%); su contenido disminuye en el guano joven y el menor contenido se tiene en el guano fósil 0.64% nitrógeno y 1.1% fósforo (Tabla 10).

**Tabla 10: Caracterización química de muestras de guano de aves marinas de la Isla San Jerónimo.**

Parámetros	Guano Fresco	Guano Joven	Guano Fósil
% Cenizas	57.48	84.37	95.7
% Mat. Org.	42.52	15.63	4.3
% Humedad	40.31	15.92	7.69
% SST	30.28	27.02	28.85
% N	3.40	2.48	0.64
% P	16.85	4.23	1.11
% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	38.82	9.75	2.56
% PO <sub>4</sub>	51.02	12.82	3.37
% K	0.06	0.02	0.02
% K <sub>2</sub> O	0.07	0.03	0.03

En 1875, Utor publica que las concentraciones del guano de las Islas de Chinchas de Perú tiene una concentración de nitrógeno del 14.29% y 26.28% de fósforo. En 1960, Cancino determinó una concentración de 14.18% de nitrógeno y 8% de fósforo. Para el 2009, Agro Rural de Perú publica que el guano tiene entre 10 y 14% de nitrógeno y 10 a 12% de fósforo. De acuerdo a la abundancia de aves y la calidad del alimento, el guano peruano de las Islas de Chinchas sigue manteniendo su calidad con el paso de los años.

En 1996, Loder *et al.*, solubilizaron guano fresco de las costas de EUA y encontraron concentraciones de 1.39% de nitrógeno y 0.955% de fósforo. Estos valores son

similares a los reportados por Lindeboom (1984) citado por Loder *et al.*, (1996), quien encontró entre 1.3 a 1.5% de amoníaco en las excretas de pingüino, y Burger *et al.* (1978) citado por Loder *et al.* (1996) encontraron en excretas de aves marinas antárticas un rango entre 0.76 a 4.2 %. Estos valores son inferiores al contenido de nitrógeno y fósforo determinados en este estudio para el guano fresco de la Isla San Jerónimo de 3.4% y 16.8% respectivamente. Es posible que las diferencias puedan estar relacionadas directamente con la alimentación de las aves marinas en estas localidades.

Por otra parte, si comparamos el guano joven de la Isla San Jerónimo con el guano de las Islas del Golfo de California, de acuerdo a lo reportado por Anderson and Polis (1999) el guano de las Islas del Golfo de California tienen aproximadamente 9% de nitrógeno y 11% de  $P_2O_5$ , posteriormente Weit *et al.* (2005) reporta que muestras de guano del Golfo tiene menores concentraciones de nitrógeno (0.03%), fósforo (0.04%) y potasio (0.02%). Al compararlo con las concentraciones obtenidas para la Isla San Jerónimo (2.48% de nitrógeno, 9.75% de fosforo oxidado y 0.035%) se puede ver que el guano del golfo tiene menores concentraciones de nutrientes. Sin embargo, si comparamos las concentraciones antes mencionadas de la Isla San Jerónimo con lo reportado para las Islas del Perú, el guano mexicano quedaría por debajo de las concentraciones del mercado. La variación de concentración de nutrientes en las distintas Islas va a depender de los factores ambientales que se den en la zona y sobre todo de las especies de aves y mamíferos que se encuentren el área (Hutchinson, 1950 citado por Anderson and Polis, 1999).

De acuerdo a la clasificación del guano de las islas del Perú publicada por Calzada-Benza (1959), el guano se puede encontrar como guano rico o como guano pobre, con un contenido de 14.8% de N, 10.5%  $P_2O_5$ , 0.9%  $K_2O$ , 9% de cal, 0.7% de Mg y entre 35 a 45% de materia orgánica; mientras que el guano pobre es aquel que su contenido varía entre 1.5 a 3.5% de N y rico en  $P_2O_5$ . Por tanto el guano de la Isla San Jerónimo estaría a la par de un guano pobre con 2.48 a 3.5% de nitrógeno, 9.75 a 38 % de fósforo oxidado ( $P_2O_5$ ), 0.03 a 0.07% de óxido de potasio ( $K_2O$ ), con una concentración de materia orgánica del 15 al 45%.

Es importante mencionar, que este análisis es el primero que se determina en la Isla San Jerónimo, que de hecho los resultados obtenidos pudieron haber sido modificados, ya que dos semanas antes de la fecha de muestreo la Isla recibió fuertes lluvias a causa del huracán Odile de categoría 4 (16 al 21 de septiembre) (El Universal, 2014). Esto pudo haber causado un gran lavado de nutrientes. Cabe mencionar que durante el recorrido de la Isla se pudo observar abundante canto rodado arrojado por el oleaje.

Las similitudes que existen entre las Islas del Perú con la Isla de estudio, nos dan fundamentos para considerar que el guano de la Isla San Jerónimo puede ser utilizado como materia prima para la producción de un fertilizante líquido de origen natural. Desafortunadamente, no se tienen registros exactos de las poblaciones de aves que habitan en forma temporal o permanente en la Isla San Jerónimo. Además, se desconoce el volumen de excretas que se generan, con el objetivo de hacer una estimación del potencial del guano en la zona para aprovecharlo de manera sustentable, sin afectar las comunidades de aves que ahí habitan.

Existen diferencias significativas (ANOVA de una vía  $\alpha=0.05:0.999$ ,  $P < 0.001$ ) en los diferentes parámetros químicos entre los tres tipos de guano (Tabla 10). Algunas zonas de la Isla San Jerónimo muestran picos fuera del rango de la mediana (Figura 19). También se puede observar que la mayoría de los parámetros de las zonas A, C y D tienen un amplio intervalo de confianza y probablemente se debe a que el número de muestras es menor al resto de las demás zonas.

Por lo anterior, se recomienda realizar muestreos estacionales o periódicos para evaluar las concentraciones de guano con respecto a las aves que habitan la zona, para estandarizar las concentraciones de guano, y compararlo con concentraciones similares a las de las Islas del Perú. La Figura 47 muestra la clasificación del guano de la Isla San Jerónimo con su contenido de nutrientes.

## Clasificación del Guano de la Isla San Jerónimo

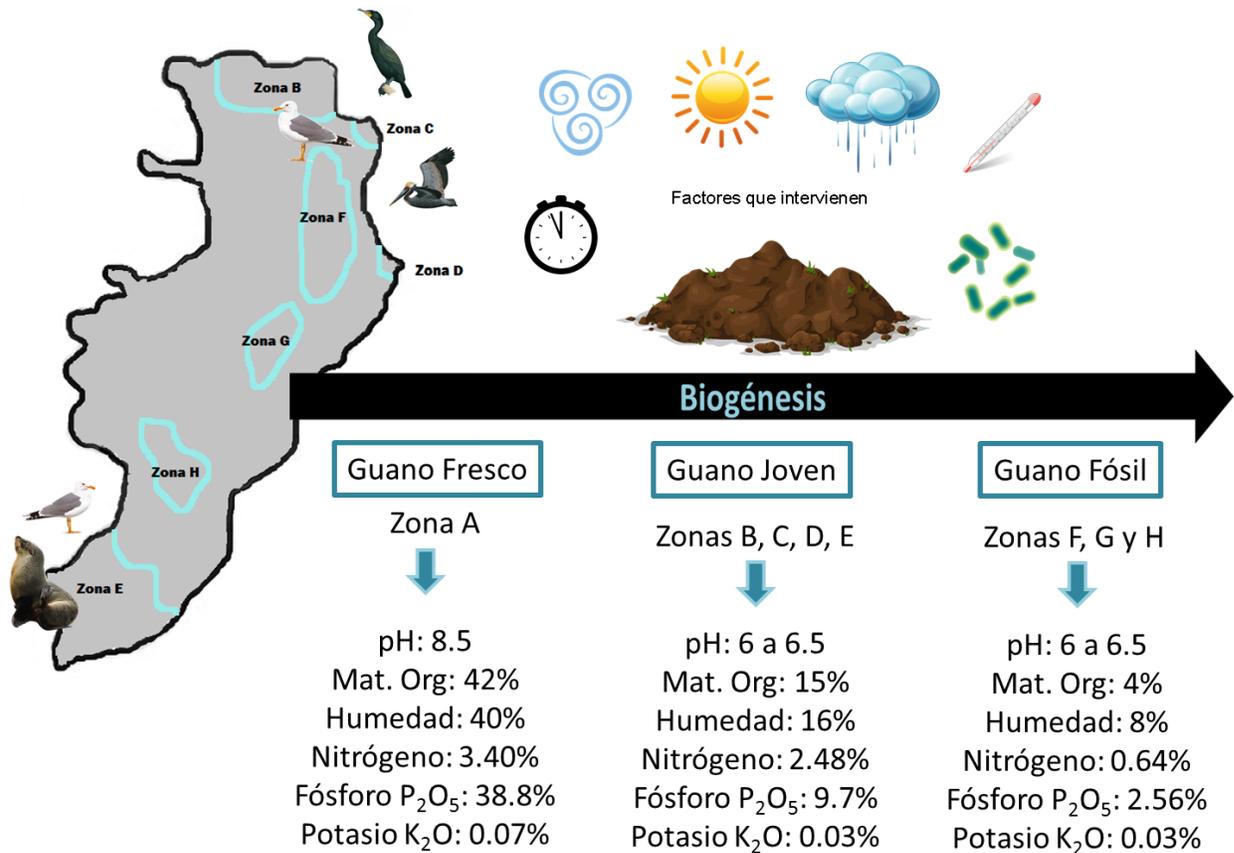


Figura 47. Clasificación de guano de la Isla San Jerónimo, representando sus características químicas y los procesos que intervienen en su biogénesis.

Desde que se inició el uso del guano en la agricultura, se ha aplicado directamente como polvo, el cual se solubiliza lentamente con el riego durante mucho tiempo; este método ha resultado eficiente para los cultivos. Sin embargo, con el paso del tiempo, el guano se comercializó, variando su composición nutrimental. Esto ocasionó deficiencias en los suelos, orillando a los agricultores a aumentar su consumo de guano para solventar las deficiencias de nutrientes en los cultivos (Clark y Foster, 2009; Ceroni-Galoso, 2012). Debido a lo antes mencionado cierto porcentaje de agricultores incursiono en el uso del guano sintético, el cual es tratado con ácido sulfúrico y posteriormente pulverizado, con este método conseguían darle mayor homogeneidad y evitar la pérdida del amoníaco. Otro método fue mezclar el guano con sales de calcio, magnesio y potasio, para suplir las deficiencias del guano (Utor, 1875).

Con las bases antes mencionadas, y las referencias de los químicos De Riviera (1927), que mencionan que el guano rojo se disuelve fácilmente con ácidos y Cancino (1960) que dice que si se quiere solubilizar el ácido úrico, el guano debe tratarse con álcalis, se diseñó un método adecuado para solubilizar la mayor cantidad de nutrientes del guano de la Isla San Jerónimo y se utilizó una lixiviación ácida y una lixiviación alcalina. De acuerdo con los análisis preliminares (Figuras 21 y 22), los dos mejores solventes para la extracción son el ácido sulfúrico que solubiliza entre el 35 a 70% del guano y el hidróxido de potasio solubiliza alrededor del 20%. Lo anterior se corroboró con el contenido de sólidos suspendidos totales (Figura 26).

Durante el proceso se observó que la lixiviación ácida es más eficiente para extraer compuestos fosfatados (92 y 99%), en comparación a la lixiviación alcalina. Sin embargo, en los compuestos nitrogenados el rendimiento de la lixiviación ácida fue menor entre el 67 a 83%, permitiendo que la lixiviación alcalina extrajera el resto de los compuestos nitrogenados (16 al 32%).

En la actualidad los agricultores buscan productos que ayuden en el crecimiento de las plantas, productos que sean de origen natural, que mejoren la salud de los suelos, que les proporcionen los nutrientes esenciales disponibles, así como minerales y materia orgánica, productos que tengan la capacidad de retener el agua y los nutrientes del suelo, reducen la erosión y las fluctuaciones del pH del suelo (Weindorf *et al.*, 2011).

Un reto importante del extracto de guano fue conocer su efecto en el cultivo de lechuga, si se presentaba alguna quemadura o enfermedad, ya que desde el inicio del uso del guano hubo discrepancia en opiniones sobre las bondades o efectos negativos de su aplicación. El guano se ha usado mayormente en su forma sólida como fertilizante (Utor, 1875, Cancino, J. M., 1960; Duffy, 1994; Clark y Foster, 2009; Ceroni-Galoso, 2012 y Cushman 2013) y durante sus aplicaciones se han evidenciado efectos de quemadura de follaje en cultivos, además de agotar los nutrientes del suelo (Utor, 1875). Sin embargo, el químico De Rivera (1827) hace mención que los efectos positivos o negativos son debidos a la cantidad de guano que se aplique directamente a la planta y el tiempo en que se riegue la planta. Si la técnica de aplicación no se cumple las plantas presentaban quemaduras, efecto del amonio, por tanto el método de

solubilización del nitrógeno y los demás nutrientes es importante para no afectar las plantas.

De acuerdo a Corrales-Macedo (1955) el guano debe aplicarse por lo menos en 5 veces durante la duración del periodo del cultivo de tomate, y ellos aplicaron 150 Kg de guano/Ha. Sus resultados muestran que, dependiendo de la etapa fenológica del cultivo, el efecto del guano no siempre es positivo, llegando en ocasiones a quemar las plantas. Por otra parte, Calzada-Benza (1956) probó la eficiencia del guano en cultivo de papa, agregando dosis ascendentes de guano. El efecto que obtuvieron no fue el esperado, ya que durante la temporada del cultivo no hubo lluvias y por tanto no se desarrolló el cultivo. En 1992 Hadas y Rosenberg, probaron el guano en la agricultura ecológica en Israel, donde evaluaron el potencial del guano de aves marinas como fuente de N disponible al aplicarlo en agua en comparación con la aplicación al suelo, concluyendo que la aplicación de guano a través del agua de riego puede ser tan eficiente como directamente al suelo. Sin embargo, el tiempo de solubilización es más lento al aplicarlo directamente que al hacerlo en forma líquida.

Las evidencias muestran que el efecto benéfico del guano está directamente relacionado con la forma de aplicación; es por lo anterior que uno de los objetivos de este trabajo fue solubilizar el guano de aves marinas en presentación líquida, para mejorar la eficiencia de aplicación. Otro punto importante, es bajar los gastos de producción, ya que si se usa el guano en polvo los costos son más elevados por las grandes cantidades de guano que se utilizan por hectárea de cultivo (Calzada-Benza, 1956; Corrales-Macedo; 1955). En comparación, en un extracto líquido hay una relación 6:1 para la producción del extracto, es decir por cada 6000 L de agua se utiliza una Ton de guano, obteniendo 6000 L de extracto de guano que pueden ser utilizados en 100 hectáreas, si se utilizan 100 L/Ha.

El guano utilizado para la fertilización de lechugas en este trabajo no causó ningún daño en las plantas de lechuga, de hecho se mostró un efecto positivo en comparación de los testigos: aumentó la raíz de las plántulas, se mostró mayor vellosoidad o pelos absorbentes, aumentó el follaje, y el radio de la lechuga fue más grande en las lechugas regadas con 4 mL de guano. Las Figuras 40, 41, 42 y 43 muestran el desarrollo de las plantas desde el inicio del cultivo, donde se observa que el crecimiento

es uniforme. Sin embargo, se muestra con mayor pendiente el crecimiento de las lechugas tratadas con guano, en comparación al testigo y a la mezcla de guano+algas. Por tanto, el extracto de guano puede ser considerado como un producto de origen natural, que contiene altas concentraciones de materia orgánica, con los nutrientes esenciales para usarse en cultivos orgánicos o convencionales, debido a su disponibilidad de nutrientes.

Desafortunadamente no se alcanzó a caracterizar la parte inorgánica, fundamental para definir el proceso de biogénesis de guano de aves y mamíferos marinos. Por lo anterior es importante considerar la realización de estudios posteriores para determinar la concentración de metales pesados, con el objetivo de evaluar y descartar un riesgo de contaminación al utilizar el guano en la agricultura. Ya que existen reportes de residuos de metales pesado en fertilizantes fosfatado provenientes del guano, principalmente cadmio (Cd), elemento que se acumula en suelos agrícolas (Jenkins and Jackson, 2014). También en el estudio realizado por Wing *et al.* (2014) menciona que el guano de aves y mamíferos marinos existe evidencia de bioacumulación de Fe y otros metales traza proveniente de las redes alimentarias.

Otra línea importante que surge de esta investigación, es la parte microbiológica, en particular el estudio de bacterias nitrificantes y desnitrificantes presentes, así como el estudio de patógenos que pudieran causar un daño a los cultivos agrícolas y del mismo modo, conocer alguna bacteria benéfica que contribuya en el proceso de mineralización de los nutrientes.

## 5. Conclusiones

---

1. La Isla San Jerónimo es una zona de anidación para especies de aves marinas residentes y migratorias, así como lugar de presencia de tres especies de pinnípedos. Estos animales generan excretas que son depositadas en el suelo, desechos que son sometidos a procesos ambientales, y provocan cambios en sus características físicas y químicas.
2. El guano es la mezcla de excretas de aves y mamíferos marinos con material terrígeno y desperdicios orgánicos (pescado, huevos, cascarones, plumas y restos de nidos, etc), que son depositados y acumulados en la zona costera.
3. La biogénesis del guano es la descomposición de la materia orgánica para generar compuestos inorgánicos con ayuda de microorganismos. Para la formación de grandes depósitos los factores ambientales y el tiempo juegan un papel importante durante la mineralización de los compuestos.
4. Las características físicas y químicas del guano están relacionadas con: a) las especies de aves y mamíferos marinos que excreten en la zona, b) con el tiempo transcurrido desde su depositación y c) con los eventos climatológicos ocurridos desde su depositación.
5. El guano de la Isla San Jerónimo se puede clasificar en guano fresco, guano joven y guano fósil, de acuerdo a sus características físicas y químicas.
6. La Isla San Jerónimo presenta guano joven y fresco en la zona noroeste. En la parte central de la Isla de lado este hay guano fósil, y la zona sur su composición corresponde a guano joven y fósil.
7. Existe una relación directa entre las edades de los depósitos de guano con las concentraciones de compuestos orgánicos. Los depósitos de guano joven y fresco tienen mayor contenido de materia orgánica, mientras que el guano fósil se compone principalmente de compuestos inorgánicos.

8. La composición de NPK en los depósitos de guano fresco fue de (3.40%, 38.82%, 0.07%), para el guano joven fue de (2.48%, 9.75%, 0.03%) y para el guano fósil fue de (0.64%, 2.56%, 0.03%).
9. La metodología implementada es una buena alternativa para solubilizar los nutrientes en el guano de aves marinas, la lixiviación ácida solubiliza el mayor contenido de compuestos inorgánicos y la lixiviación alcalina solubiliza los compuestos orgánicos.
10. Con el método implementado usando lixiviación ácida ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) y una lixiviación alcalina (KOH) se solubilizó 98% del guano.
11. La solubilización de nutrientes del guano sólido es una alternativa viable para nutrir las plantas con compuestos disponibles, además de ser una opción de origen natural que es de fácil aplicación.
12. La composición química del guano de la Isla San Jerónimo, se puede considerar para su empleo como fertilizante agrícola.
13. Los efectos positivos mostrados en el cultivo de lechuga fertilizado con guano de aves y mamífero marinos da pie a nuevas pruebas de campo para estandarizar la dosificación del extracto.
14. El extracto de guano con una dosis de 4 mL /L tuvo mejor respuesta en comparación al testigo y a la mezcla guano + algas, mostrando mayor tamaño de raíz, largo de hoja, ancho de hoja, radio de la fronda y peso de lechugas.
15. El extracto de guano tuvo mayor efecto en crecimiento en la especie Escarola verde que en la especie Lollo rosso.

## 5.1. Recomendaciones

1. Hacer estudios sobre la abundancia de aves estacionales por un periodo largo, con el fin de calcular el porcentaje de excretas depositadas anualmente y de esta forma considerar la viabilidad de extracción de guano de forma comercial sin afectar las comunidades de aves marinas.
2. Si se explotan los depósitos de guano, es necesario que se hagan estudios para evaluar la tasa de regeneración de los depósitos.
3. De acuerdo a la caracterización química realizada en las diferentes zonas de la Isla, se recomienda hacer muestreos periódicos para estandarizar las concentraciones de nutrientes de los tipos de guano presentes en la Isla y correlacionar con la abundancia de aves.
4. Analizar metales trazas de los extractos de guano obtenidos en el 2012 y comparar con muestras recientes.
5. En la metodología implementada para la solubilización de nutrientes, se recomienda trabajar con variación de solventes, con el objetivo de minimizar el costo de producción. Es necesario seguir estandarizando el método de extracción de nutrientes para aplicarlo a nivel industrial.
6. Realizar nuevas pruebas de campo utilizando el extracto de guano para estandarizar la dosificación para los diferentes cultivos agrícolas.

## Lista de referencias bibliográficas

---

- Abadía, A., Cadahia, C., Casado, M., Chaves, M., Lachica López, M., Lasala, M y Pérez, V. (1973). *Determinaciones analíticas en suelos. Normalización de métodos. pH, materia orgánica y nitrógeno*. Comisión de métodos analíticos del Instituto Nacional de Edafología y Agrobiología José Ma. Albaredas. *Anales de edafología y agrobiología*. Tomo XXXII. (11-12) 21. Recuperado en 2014: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/18787/1/ANEA-1973-32-1153.pdf>
- Agro Rural Perú. (2009). Guano de las Islas. Dirección de operaciones subdirección de insumos y abonos. *Ministerio de Agricultura, Perú*. pp. 4. Recuperado en 2014: <http://www.agrorural.gob.pe/informacion-tecnica/>
- Ainley, D. G., Spear, L. B., Tynan, C. T., Barth, J. A., Pierce, S. D., Ford, R. G., and Cowles, T. J. (2005). Physical and biological variables affecting seabird distributions during the upwelling season of the northern California Current. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 52(1), 123-143.
- Altieri, M. (2009). La agricultura moderna: impactos ecológicos y la posibilidad de una verdadera agricultura sustentable. *On-farm evaluation of the 'push-pull' technology for the control of stemborers and Striga weed on maize in western Kenya*. *Field Crops Research*, 106(3), 224-233. Recuperado en 2015: <http://213.0.56.171/fileadmin/areas/medioambiente/ae/IOAgriculturaModerna.pdf>
- Álvarez-Solís, J. D., y Anzueto-Martínez, M. D. J. (2004). Actividad microbiana del suelo bajo diferentes sistemas de producción de maíz en los altos de Chiapas, México. *Agrociencia*, 38(1), 13-22.
- Anderson, W. B., & Polis, G. A. (1999). Nutrient fluxes from water to land: seabirds affect plant nutrient status on Gulf of California Islands. *Oecologia*, 118(3), 324-332.
- AOAC International. (1984). *Official methods of analysis of AOAC International*. 14th ed. Arlington, VA, USA, Association of Analytical Communities. AOAC International.
- Blackall, T. D., Wilson, L. J., Bull, J., Theobald, M. R., Bacon, P. J., Hamer, K. C., Wanless, S. and Sutton, M. A. (2008). Temporal variation in atmospheric ammonia concentrations above seabird colonies. *Atmospheric Environment*, 42(29), 6942-6950.
- Calzada-Benza, J. (1956). Efecto del Guano de Islas y del estiércol de corral en el cultivo de papa. Ensayo sobre la composición microbiológica del guano de Islas del Perú. *Boletín de la Compañía Administradora de Guano*. Lima Perú. Vol. XXXII (2), 11-13. Recuperado en Junio 2016: <http://biblioimarpe.imarpe.gob.pe:8080/bitstream/handle/123456789/2860/CAG%2032%282%29-3.pdf?sequence>

- Calzada-Benza, J. (1959). Trascendencia del guano de Islas en la agricultura y economía del Perú. *Boletín de la Compañía Administradora de Guano*. Lima Perú. Vol. XXXV (3), 20-17. Recuperado en Junio 2016: <http://biblioimarpe.imarpe.gob.pe:8080/bitstream/handle/123456789/2628/CAG%2035%283%29-4.pdf?sequence=1>
- Cancino, J. M. (1960). Importancia de la fracción orgánica del guano de las Islas. *Revista de la Sociedad Química de México*. Mayo-Junio, Vol. IV (3) 69-74.
- Cardenas-Alayza, S. (2012). *Programa de observadores voluntarios de la campaña de extracción de guano 2012*. Informe final. Proyecto Punta San Juan. Lima, Perú. pp 45. Recuperado en 2015: <http://es.puntasanjuan.org/files/InformeFinalGuanoPSJ2012b.pdf>
- Carmen Cuba, M. (1955). Ensayo sobre la composición microbiológica del guano de Islas del Perú. *Boletín de la Compañía Administradora de Guano*. Lima Perú. Vol. XXXI (9), 17-21. Recuperado en Junio 2016: <http://biblioimarpe.imarpe.gob.pe:8080/bitstream/handle/123456789/2855/CAG%2031%289%29-5.pdf?sequence=1>
- Ceroni-Galoso, M. (2012). Perú, el país de las oportunidades perdidas en ciencia: el caso de los fertilizantes. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 78(2), 144-152. Recuperado en 2015: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2012000200009](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2012000200009)
- Chapin III, F. S., Matson, P. A., and Vitousek, P. (2011). *Principles of terrestrial ecosystem ecology*. Springer Science & Business Media.
- Clark, B., y Foster, J. B. (2012). Imperialismo ecológico y la fractura metabólica global. Intercambio desigual y el comercio de guano/nitratos. *Theomai*, (26). Recuperado en 2015: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=12426097005>
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), (2005). "Estudio Previo Justificativo para el establecimiento de la *Reserva de la Biosfera Islas del Pacífico de California*". México, D.F., pp.169. Recuperado en 2015: <http://www.islas.org.mx/esp/anexos/ETJ-Islas-del-Pacifico-CONANP-5jun2005.pdf>
- Corrales-Macedo, I. (1955). Dosis creciente de Nitrógeno y forma de aplicación del guano de Islas en el cultivo del Tomate. *Boletín de la Compañía Administradora de Guano*. Lima Perú. Vol. XXXI (1), 5-10. Recuperado en Junio 2016: <http://biblioimarpe.imarpe.gob.pe:8080/bitstream/handle/123456789/2847/CAG%2031%281%29-2.pdf?sequence=1>
- Cushman, G. T. (2005). The most valuable birds in the world: International Conservation Science and the Revival of Peru's Guano Industry, 1909-1965. *Environmental History*, 10(3), 477-509.

- Cushman, G. T. (2013). *Guano and the opening of the Pacific World: A global ecological history*. Cambridge University Press. Marzo 25, 2013. pp.392. Recuperado en 2014:  
<https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=PlogAwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR11&ots=eBAyONM4Xr&sig=GTcT0tJMDelWuFOgNmyyqs1rTCY#v=onepage&q&f=false>
- De Rivero, M. E. (1827). Memoria sobre el Guano de Pajaros del Peru. -(Lima 1827). Agricultura. pp. 11. Recuperado en Marzo 2016:  
[https://books.google.com.mx/books?id=R4RXAAAACAAJ&pg=PA7&lpq=PA7&dq=Memorias+Mariano+de+Rivero+guano&source=bl&ots=KFYHLZISyv&sig=hlqPZZP7Qej-M\\_Z\\_N-DdW6Daio&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiHq-Cf1LbNAhVGImMKHbeiBTcQ6AEIMDAE#v=onepage&q=Memorias%20Mariano%20de%20Rivero%20guano&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=R4RXAAAACAAJ&pg=PA7&lpq=PA7&dq=Memorias+Mariano+de+Rivero+guano&source=bl&ots=KFYHLZISyv&sig=hlqPZZP7Qej-M_Z_N-DdW6Daio&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiHq-Cf1LbNAhVGImMKHbeiBTcQ6AEIMDAE#v=onepage&q=Memorias%20Mariano%20de%20Rivero%20guano&f=false)
- Duffy, D. C. (1994). The guano Islands of Peru: the once and future management of a renewable resource. *Seabirds on Islands, Threats, Case Studies and Action Plans*. Cambridge: BirdLife Conservation Series, (1), 68-76.
- Ellis, J. C. (2005). Marine birds on land: a review of plant biomass, species richness, and community composition in seabird colonies. *Plant Ecology*, 181(2), 227-241.
- Ellis, J. C., Fariña, J. M., and Witman, J. D. (2006). Nutrient transfer from sea to land: the case of gulls and cormorants in the Gulf of Maine. *Journal of Animal Ecology*, 75(2), 565-574.
- El Universal. (2014). Alerta máxima en Baja California, Uracan Odile. *Periodico El Universal*. Recuperado en Junio del 2016 de:  
<http://archivo.eluniversal.com.mx/estados/2014/alerta-maxima-en-baja-california-por-huracan-odile-1038071.html>
- FAO, I. (2002). *Fertilizantes y su uso*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y la Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes. 4ta ed. pp. 83. Recuperado en 2014:  
<ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/fertuso.pdf>
- Fernández-Linares, L. C., Rojas-Avelizapa, N. G., Roldán-Carrillo, T. G., Ramírez-Islas, M. E., Zegarra-Martínez, H. G., Uribe-Hernández, R., Reyes-Ávila, R., Flores-Hernández, D. y Arce-Ortega, J. M. (2006). *Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados* (No. C/631.41 M3). México. (pp.184). Recuperado en 2014:  
<http://www.inecc.gob.mx/descargas/publicaciones/509.pdf>
- Flores, J., Sahelices, M. C. C., y Moreira, M. A. (2008). Una interpretación aproximativa del concepto de Hidrólisis en estructuras peptídicas en un Curso de Bioquímica del IPC en el contexto de la Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud. *Revista de investigación*, (64), 135-160. Recuperado de:  
[http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1010-29142008000200007](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-29142008000200007)

- Gabi-Reyes, F. (2007). *Uso de Fertilizantes*. Ficha de la Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, SAGARPA. Subsecretaría de Desarrollo Rural. Recuperado en 2014: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Uso%20de%20Fertilizantes.pdf>
- García Amaro de Miranda, E. (2003). Distribución de la precipitación en la República Mexicana. *Investigaciones Geográficas*, (50), 67-76.
- Hadas, A., and Rosenberg, R. (1992). Guano as a nitrogen source for fertigation in organic farming. *Fertilizer research*, 31(2), 209-214. Recuperado en 2015: <http://link.springer.com/article/10.1007/BF01063294>
- Hamuda, H. E. A. F. B., and Patkó, I. (2010). Relationship between environmental impacts and modern agriculture. *Óbuda University e-Bulletin*, 1, 87-98. Recuperado en 2015: [http://uni-obuda.hu/e-bulletin/Hamuda\\_Patko\\_1.pdf](http://uni-obuda.hu/e-bulletin/Hamuda_Patko_1.pdf)
- Jahncke, J., y Goya, E. (1998). Las dietas del guanay y el piquero peruano como indicadores de la abundancia y distribución de anchoveta.
- Jenkins, T. A., & Jackson, K. (2014). Significance of low contaminant levels in an Indonesian guano phosphate fertiliser. *Ratio*, 1, 0-049. Recuperado de: [http://flrc.massey.ac.nz/workshops/14/Manuscripts/Paper\\_Jenkins\\_1\\_2014.pdf](http://flrc.massey.ac.nz/workshops/14/Manuscripts/Paper_Jenkins_1_2014.pdf)
- Jordán, S. (1961). Las aves guaneras, la cadena alimentaria y la producción de guano. *Boletín de la Compañía Administradora de Guano*. Lima Perú. Vol. XXXVII (3), 19-20. Recuperado en Junio 2016: <http://biblioimarpe.imarpe.gob.pe:8080/bitstream/handle/123456789/2576/CAG%2037%283%29-5.pdf?sequence=1>
- Liu, X. D., Zhao, S. P., Sun, L. G., Luo, H. H., Yin, X. B., Xie, Z. Q., Wang, Y. H., Liu, K. X., Wu, X. H., Ding, X. F. and Fu, D. P. (2006). Geochemical evidence for the variation of historical seabird population on Dongdao Island of the South China Sea. *Journal of Paleolimnology*, 36(3), 259-279.
- Loder, T. C., Ganning, B., & Love, J. A. (1996). Ammonia nitrogen dynamics in coastal rockpools affected by gull guano. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 196(1), 113-129.
- Lluch-Belda, D., Lluch-Cota, D. B., and Lluch-Cota, S. E. (2003). Baja California's biological transition zones: refuges for the California sardine. *Journal of Oceanography*, 59(4), 503-513.
- Mann, F. G. 1954. Las aves guaneras y las posibilidades de incrementar la producción de guano blanco en Chile. Bases para programa de trabajo. Revista Chilena de Historia Natural. No. 16. Año LIV. pp.37. Recuperado de: <http://rchn.biologiachile.cl/en/contents/1954-1955v54n16.php>
- Méndez-Martínez, L. E. (2008). *Explotación de guano en la Isla San Jerónimo, delegación El Rosario, municipio de Ensenada, B.C.* Primer reporte. Programa de

monitoreo y registro de aves en la Isla San Jerónimo. Elaborado por AMBIENET Consultores, Junio, 2008. pp.8.

- Mexicana, N. O. (1994). NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental. *Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamiento que debe someterse el agua para su potabilización*. DOF, 22/11/2000, México DF. Recuperado de: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/127ssa14.html>
- Mexicana, N. O. (1995). NOM-093-SSA1-1994, Bienes y servicios. *Prácticas de higiene y sanidad en la preparación de alimentos que se ofrecen en establecimientos fijos*. DOF 04/10/1995, México DF. Recuperada de: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/093ssa14.html>
- Mexicana, N. O. (1997). NOM-003-SEMARNAT-1997, *Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público*. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. DOF 21/09/1988, México DF. Recuperada de: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NormasOficialesMexicanas.pdf>
- Mexicana, N. O. (2000). NOM-021-SEMARNAT-2000. *Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de la destilería*. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. DOF 31/12/2002. México DF. Recuperado de: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/DO2280n.pdf>
- Mexicana, N. O. (2006). NMX-AA-132-SCFI-2006. *Muestreo de suelos para la identificación y la cuantificación de metales y metaloides, y manejo de muestras*. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. DOF. México DF. Recuperado de: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/PPD02/NMX132AA2006.pdf>
- Norma INV E-104-07. (2014). *Procedimientos para la preparación de muestras de suelos por cuarteo*. Instituto Nacional de Vías. Sección 100-Suelos. Recuperado en 2014: [ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones\\_Normas\\_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-104-07.pdf](ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-104-07.pdf)
- Osman, K. T. (2013). Plant nutrients and soil fertility management. In *Soils* (pp. 129-159). Springer Netherlands. Recuperado en 2015: [http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-94-007-5663-2\\_10#page-1](http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-94-007-5663-2_10#page-1)
- Palomo, G., Iribarne, O., & Martinez, M. M. (1999). The effect of migratory seabirds guano on the soft bottom community of a SW Atlantic coastal lagoon. *Bulletin of marine science*, 65(1), 119-128.

- Posmanik, R., Sinay, B. B., Golan, R., Nejidat, A., and Gross, A. (2011). Reuse of stabilized fowl manure as soil amendment and its implication on organic agriculture nutrition management. *Water, Air, & Soil Pollution*, 216(1-4), 537-545.
- Programa Nacional de Desarrollo Social (PND) 2014-2018. (2014). Secretaría de Gobernación. México, DF. Recuperado en 2014: [http://www.sedesol.gob.mx/work/models/SEDESOL/Transparencia/files/Pronades\\_2014-2018\\_DOF\\_30.04.14.pdf](http://www.sedesol.gob.mx/work/models/SEDESOL/Transparencia/files/Pronades_2014-2018_DOF_30.04.14.pdf)
- Programa Punta San Juan (PPSJ), (2015). Recuperado de: <http://es.puntasanjuan.org/html/>
- Raimondi, A. (1926). Apuntes sobre el huano y las aves que lo producen. *Boletín de la Compañía Administradora de Guano*. Lima Perú. Vol. II (9), 443-453. Recuperado en Junio 2016: <http://biblioimarpe.imarpe.gob.pe:8080/bitstream/handle/123456789/2827/CAG%202%289%29-2.pdf?sequence=1>
- Reeuwijk, L. P. (2002). *Procedures for soil analysis*. 6<sup>th</sup> Ed. International Soil Reference and Information Centre. Recuperado en 2014. [http://www.isric.org/isric/webdocs/docs/ISRIC\\_TechPap09\\_2002.pdf](http://www.isric.org/isric/webdocs/docs/ISRIC_TechPap09_2002.pdf)
- Riddick, S. N., Blackall, T. D., Dragosits, U., Daunt, F., Braban, C. F., Tang, Y. S., MacFarlane, W., Taylor, S., Wanless, S. and Sutton, M. A. (2014). Measurement of ammonia emissions from tropical seabird colonies. *Atmospheric Environment*, 89, 35-42.
- Roberts, T. L., & Henry, J. L. (2000). El muestreo de suelos: los beneficios de un buen trabajo. *Informaciones Agrónomicas del Cono Sur*. INPOFOS, 42 (8), 7-10. Recuperado en 2014: [http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/\\$webindex/A8EF73615D13C19B05256A11006AA55F/\\$file/EI+muestreo+de+suelos.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/A8EF73615D13C19B05256A11006AA55F/$file/EI+muestreo+de+suelos.pdf)
- Rodriguez, E., Sultan, R., and Hilliker, A. (2004). Negative effects of agriculture on our environment. *Ef. Agric. Trap*, 3, 28-32.
- Samaniego-Herrera, A., Peralta-García, A. y Aguirre-Muñoz, A. (Eds.). (2007). *Vertebrados de las Islas del Pacífico de Baja California*. Guía de campo. Grupo de Ecología y Conservación de Islas, A. C. Ensenada, 178 pp. Recuperado en 2014: [http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id\\_pub=536](http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id_pub=536)
- Sarabia-Meléndez, I. F., Cisneros-Almazán, R., Aceves de Alba, J., Durán-García, H. M., y Castro-Larragoitia, J. (2011). Calidad del agua de riego en suelos agrícolas y cultivos del Valle de San Luis Potosí, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 27(2), 103-113.
- Sumner, M. E. (2000). Diagnóstico de los requerimientos de fertilización de cultivos extensivos. *Informaciones Agrónomicas del Cono Sur*, 9(5). Recuperado en 2014:

<http://www.fertilizando.com/articulos/Sumner%20Diagnostico%20Requerimiento%20Fertilizacion.pdf>

- Szpak, P., Millaire, J. F., White, C. D., and Longstaffe, F. J. (2012). Influence of seabird guano and camelid dung fertilization on the nitrogen isotopic composition of field-grown maize (*Zea mays*). *Journal of Archaeological Science*, 39(12), 3721-3740. Recuperado en 2015: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305440312003019>
- Trinidad-Santos, A. (2007). *Abonos Orgánicos*. Ficha de la Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, SAGARPA. Subsecretaria de Desarrollo Rural. Recuperado en 2014: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Abonos%20organicos.pdf>
- Tyler, W. B., Briggs, K. T., Lewis, D. B., and Ford, R. G. (1993). Seabird distribution and abundance in relation to oceanographic processes in the California Current System. *The status, ecology, and conservation of marine birds of the North Pacific*. Canadian Wildlife Service. Spec. Publ., Ottawa.
- Uribe, S., Kristal, J., y Uribe, M. (2013). Evaluación de lixiviados de composta y vermicomposta de residuos agropecuarios como mecanismo de fertilización y control de enfermedades en cultivos tropicales. Ramos, M. y Aguilera, V., (eds.) *Ciencias Agropecuarias Handbook* ©ECORFAN-Valle de Santiago, Guanajuato. Congreso Interdisciplinario de Cuerpos Académicos. pp. 36-41. Recuperado en 2015: <http://www.ecorfan.org/handbooks/pdf/Ciencias%20Agropecuarias%20Handbook.pdf>
- Utor, L. M. (1875). La Agricultura Moderna. Guano. *Revista Europea*. Madrid, España. 14 de Noviembre de 1875, año II, tomo VI (90) 46-54. Recuperado en 2014: <http://www.filosofia.org/rev/reu/1875/pdf/n090p046.pdf>
- Villareal-Morales, A. H. 1985. *Comparación y evaluación de técnicas analíticas para la determinación de fósforo en minerales de hierro pellets fierro esponja y acero*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Químicas, División de Estudios Superiores. México. pp.102.
- Wait, D. A., Aubrey, D. P., & Anderson, W. B. (2005). Seabird guano influences on desert islands: soil chemistry and herbaceous species richness and productivity. *Journal of Arid Environments*, 60(4), 681-695.
- Walls, M. (2006). *Agriculture and environment*. SCAR Foresight Group. Recuperado en 2015: [https://ec.europa.eu/research/agriculture/scar/pdf/scar\\_ foresight\\_environment\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/research/agriculture/scar/pdf/scar_ foresight_environment_en.pdf)
- Weindorf, D. C., Muir, J. P., and Landeros-Sánchez, C. (2011). Organic compost and manufactured fertilizers: economics and ecology. In *Integrating Agriculture*,

*Conservation and Ecotourism: Examples from the Field* (pp. 27-53). Springer Netherlands.

- Wing, S. R., Jack, L., Shatova, O., Leichter, J. J., Barr, D., Frew, R. D., & Gault-Ringold, M. (2014). Seabirds and marine mammals redistribute bioavailable iron in the Southern Ocean. *Marine Ecology Progress Series*, 510, 1-13.
- Wright, D. G., van der Wal, R., Wanless, S., & Bardgett, R. D. (2010). The influence of seabird nutrient enrichment and grazing on the structure and function of Island soil food webs. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(4), 592-600.
- Zar, Jerrold H. (2010). *Biostatistical Analysis*. 5th Edition. Pearson Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ. pp. 944.
- Zavala, C. S., Contreras, A. L., Belda, D. L., y Rivera, E. D. (2009). Distribución geográfica y variabilidad climática de los regímenes pluviométricos en Baja California Sur, México. *Atmósfera*, 3(3).

## Anexos

### 1. Método Micro Kjeldahl citado por Abadía et al., 1973; AOAC, 1984).

#### Digestión a 350-450 °C:

##### 1. Agregar reactivos en matraz Kjeldahl:

<0.5 g de muestra  
0.5 g de  $K_2SO_4$   
0.2 g de  $CuSO_4 \cdot 5 H_2O$   
2 mL de  $H_2SO_4$



Colocar en el digestor:  
De 45 min a 1:30 hrs  
dependiendo la muestra



www.labconco.com

##### 2. Digerir hasta que no haya materia orgánica (líquido verde o azul).

##### 3. Dejar enfriar el líquido obtenido y aforar a 25 mL con $H_2O$ destilada.



Precaución:  
Reacción violenta

#### Destilación:

##### 4. En matraz Erlenmeyer (100 mL) agregar:

10 mL de  $H_3BO_3$  al 4%  
5 gotas de indicador Tashiro

##### 5. Colocar el matraz abajo del refrigerante.



Precaución: La salida del  
refrigerante debe estar  
siempre en contacto con el  
ácido bórico.

##### 6. En el destilador agregar:

5 mL de NaOH al 5 N  
5 mL de muestra digerida

##### 7. Iniciar destilación y recuperar 75 mL de muestra.

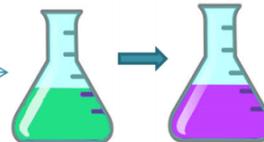


www.labconco.com

#### Titulación:

##### 8. Valorar la muestra hasta el vire de color verde a rosa:

HCl al 0.01N



##### 9. Calcular el contenido de nitrógeno.

## 2. Metodología para determinar fósforo total (Método azul de molibdeno (AOAC, 1984)).

### Preparación de muestra:

#### 1. En tubos de ensayo colocar:

1 mL de muestra  
 0.5 mL de solución de  $(\text{NH}_4)_6 \text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$   
 0.5 mL de  $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$  al 0.2%  
 Aforar a 10 mL con  $\text{H}_2\text{O}$

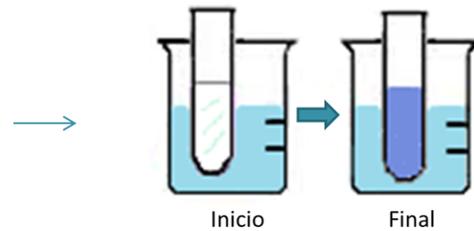
Preparar solución:  
 2 g de  $(\text{NH}_4)_6 \text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$  en 50 mL  $\text{H}_2\text{O}$  destilada.  
 28.5 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$   
 Aforar con  $\text{H}_2\text{O}$  destilada a 100 mL

#### 2. Agitar los tubos con cuidado.

### Reacción:

3. Colocar los tubos en baño maría por 9 min entre 95 y 100 °C.

4. Colocar los tubos en agua con hielo, para detener la reacción.



### Lectura:

5. Agitar muestras y leer absorbancia a 827 nm.



A continuación se muestra la curva de calibración utilizada para el método.

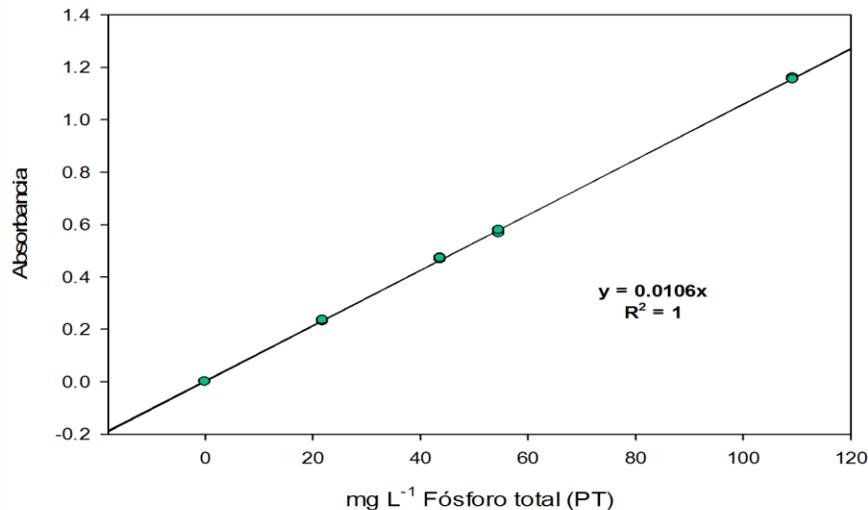


Figura 48. Curva de calibración para la determinación de fósforo total (P) con el método azul de molibdeno (AOAC, 1984).

### 3. Metodología para determinar fósforo oxidado $P_2O_5$ . (Método amarillo de molibdovanadofosfato, AOAC, 1984).

#### Preparación de muestra:

##### 1. En tubos de ensayo colocar:

- 0.5 mL de muestra
- 4.5 mL de  $H_2O$
- 2 mL de reactivo amarillo



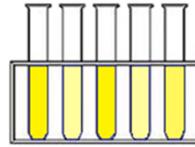
##### Preparar solución amarilla:

1. Disolver 5 g de  $(NH_4)_6 Mo_7 O_{24} \cdot 4 H_2 O$  en 100 mL  $H_2 O$  destilada.
2. Disolver 0.25 g de  $NH_4 VO_3$  en 50 mL  $H_2 O$  destilada caliente, dejar enfriar y agregar 56.25 mL de  $HClO_4$  al 70%.
3. Agregar la solución 1 a la solución 2.
4. Filtrar reactivo.

##### 2. Agitar los tubos con cuidado, dejar reposar por 10 minutos.

#### Lectura:

##### 3. Agitar muestras y leer absorbancia a 827 nm.



Curvas de calibración utilizadas para el método,

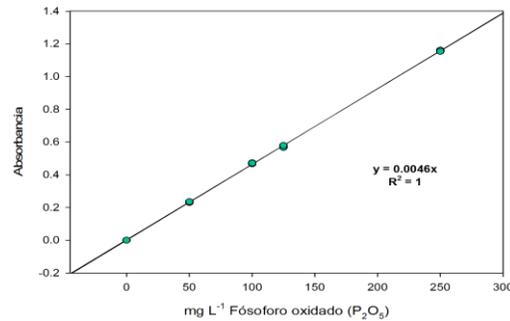


Figura 49. Curva de calibración para la determinación de fósforo oxidado ( $P_2O_5$ ) con el método metavanadofosfato (AOAC, 1984).

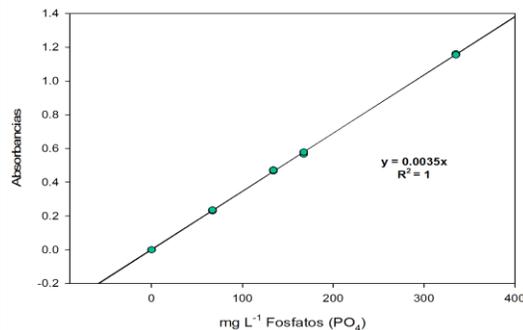


Figura 50. Curva de calibración para la determinación de fosfatos ( $PO_4$ ) con el método azul de molibdeno (AOAC, 1984).

#### 4. Resultados de análisis preliminares

Ensayo 2: Se determinó nitrógeno y fósforo durante la lixiviación con ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) a diferentes normalidades en tres extracciones (Figuras 51 y 52).

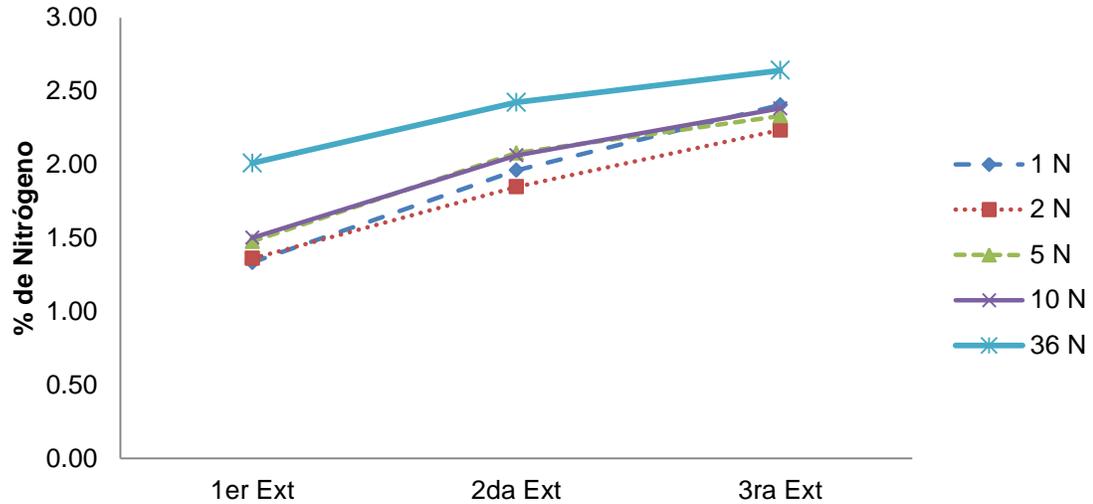


Figura 51. Porcentaje de nitrógeno solubilizado en guano de aves marinas, utilizando  $H_2SO_4$  como solvente a diferentes normalidades.

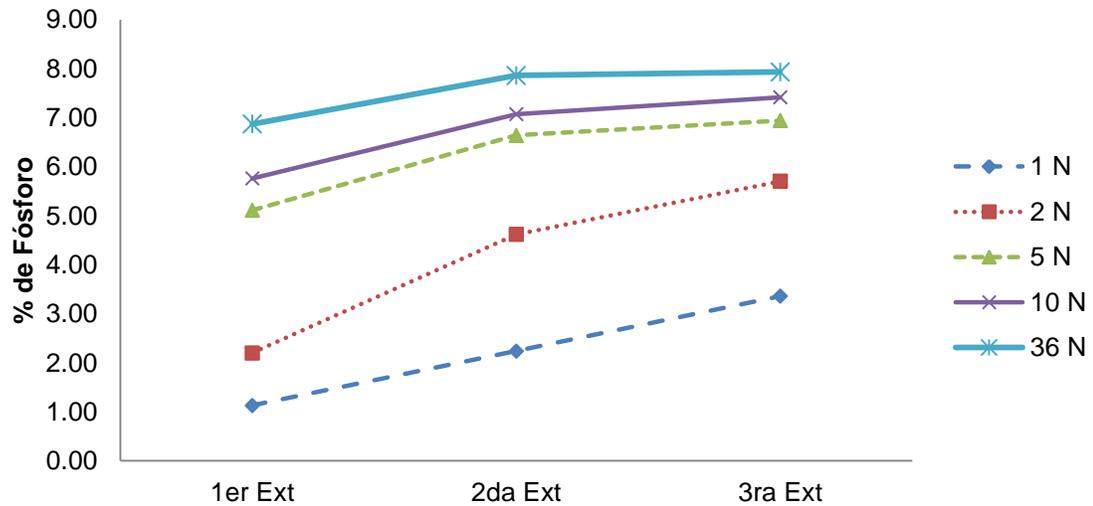
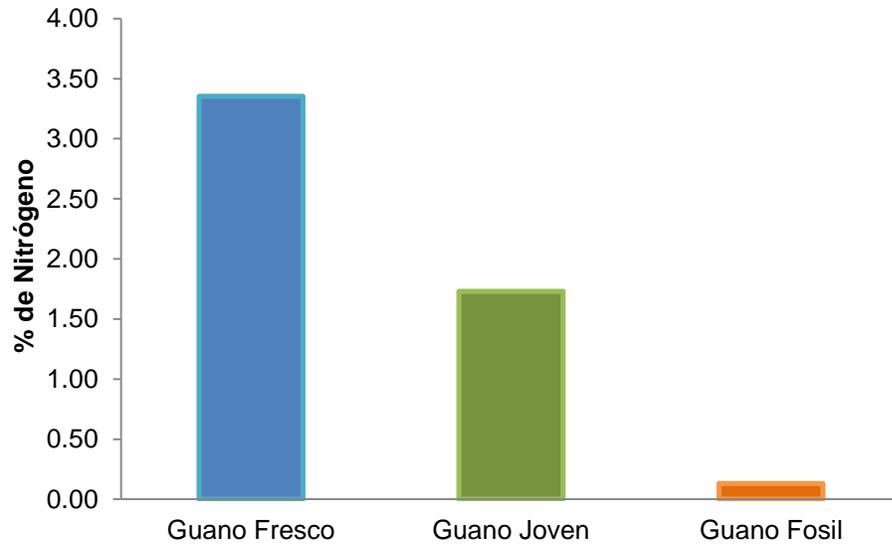
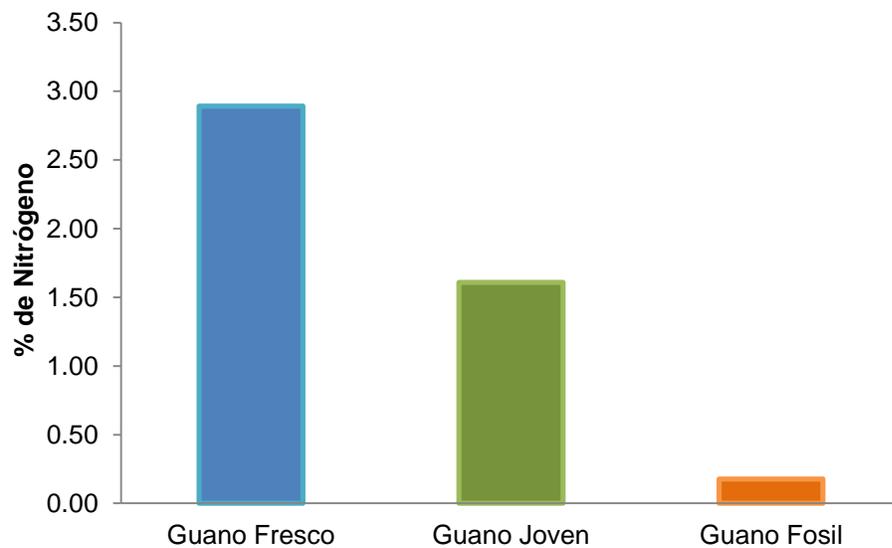


Figura 52. Porcentaje de fósforo solubilizado en guano de aves marinas, utilizando  $H_2SO_4$  como solvente a diferentes normalidades.

Ensayo 3: Se determinó nitrógeno en muestras de guano sólido (fresco, joven y fósil) como punto de inicio (Figura 53) antes de la lixiviación con ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) y después de la lixiviación para corroborar la eficiencia del solvente (Figura 54).



**Figura 53. Contenido de nitrógeno en muestras de sedimento de guano fresco, joven y fósil de la Isla San Jerónimo.**



**Figura 54. Porcentaje de nitrógeno solubilizado utilizando una extracción ácida ( $H_2SO_4$ ) en muestras de sedimento de guano fresco, joven y fósil de la Isla San Jerónimo.**

### **3. Concentraciones promedio de nutrientes analizados.**

A continuación se muestra un concentrado promedio de cada parámetro en %, para cada zona de estudio.

**Tabla 11. Concentrado con valores promedio para cada zona de estudio por cada parámetro analizado.**

<b>Zonas</b>	<b>Cenizas</b>	<b>Mat. Org.</b>	<b>Peso Seco</b>	<b>Humedad</b>	<b>% SST</b>	<b>% NT</b>	<b>% FT</b>	<b>% P2O5</b>	<b>% PO4</b>
A	57.48	42.52	59.69	40.31	30.28	3.40	16.85	38.82	51.02
B	81.82	18.18	71.514	28.486	25.11	1.55	5.17	11.90	15.64
C	83.08	16.92	88.528	11.472	27.87	3.55	4.57	10.53	13.84
D	88.22	11.78	92.212	7.788	28.06	2.33	2.97	6.83	8.98
E	94.50	5.50	94.331	5.669	26.40	1.03	0.97	2.24	2.95
F	95.22	4.78	90.357	9.643	28.66	0.73	1.61	3.72	4.88
G	96.06	3.95	93.84	6.16	28.03	0.52	1.20	2.76	3.63
H	97.03	2.98	90.722	9.278	32.32	0.26	0.66	1.52	2.00

## 6. Análisis estadísticos

A continuación se muestra las tablas obtenidas en la estadística por parámetro analizado.

### Humedad

Prueba Kruskal-Wallis análisis de varianza de una vía por rangos.

Zonas	N	Mediana (%)	25%	75%	IC +	IC -
A	18	31.48	21.76	58.54	45.17	17.78
B	26	28.64	21.37	38.11	33.82	23.45
C	10	6.85	2.78	23.26	17.08	-3.38
D	9	4.03	2.25	14.78	10.63	-2.57
E	31	5.09	3.14	7.30	6.27	3.91
F	23	9.71	5.92	12.58	11.90	7.52
G	18	4.66	3.47	8.57	6.56	2.76
H	14	3.93	2.18	19.28	11.15	-3.29

**H = 77.913 con 7 grados de libertad. (P <0.001)**

Comparación múltiple por pares usando el Método de Dunn's.

Negro: No hay diferencia significativa

Rojo: Si hay diferencia significativa

Zonas	A	B	C	D	E	F	G	H
A		8.487	62.33	77.89	78.14	54.12	78.56	73.05
B			53.85	69.4	69.65	45.63	70.07	64.56
C				15.56	15.81		16.22	10.71
D					0.251		0.667	
E							0.416	
F			8.217	23.77	24.02		24.44	18.93
G								
H				4.841	5.092		5.508	

## Peso seco

Prueba Kruskal-Wallis análisis de varianza de una vía por rangos.

Zonas	N	Mediana (%)	25%	75%	IC +	IC -
A	18	68.521	41.463	78.239	82.22	54.83
B	26	71.364	61.894	78.627	76.55	66.18
C	10	93.149	76.741	97.216	103.38	82.92
D	9	95.97	85.223	97.749	102.57	89.37
E	31	94.91	92.705	96.858	96.09	93.73
F	23	90.289	87.424	94.081	92.48	88.10
G	18	95.343	91.431	96.529	97.24	93.44
H	14	96.071	80.721	97.821	103.29	88.85

**H = 77.913 con 7 grados de libertad. (P <0.001)**

Comparación múltiple por pares usando el Método de Dunn's.

Negro: No hay diferencia significativa

Rojo: Si hay diferencia significativa

Zonas	A	B	C	D	E	F	G	H
A								
B	8.487							
C	62.33	53.85				8.217		
D	77.89	69.4	15.56			23.77		4.841
E	78.14	69.65	15.81	0.251		24.02		5.092
F	54.12	45.63						
G	78.56	70.07	16.22	0.667	0.416	24.44		5.508
H	73.05	64.56	10.71			18.93		

## Cenizas

Prueba Kruskal-Wallis análisis de varianza de una vía por rangos.

Zonas	N	Mediana (%)	25%	75%	IC +	IC -
A	51	56.94	51.23	60.91	59.09	54.80
B	78	80.23	79.17	82.41	80.81	79.65
C	30	90.86	74.89	93.64	96.27	85.45
D	27	92.51	86.51	93.79	94.73	90.30
E	93	94.93	93.65	95.96	95.30	94.55
F	69	95.37	94.06	96.45	95.82	94.91
G	54	96.34	94.62	97.64	96.99	95.69
H	42	97.06	96.63	97.42	97.25	96.87

**H = 313.040 con 7 grados de libertad. (P <0.001)**



## pH

Prueba Kruskal-Wallis análisis de varianza de una vía por rangos.

Zonas	N	Mediana	25%	75%	IC +	IC -
A	8	8.93	8.76	9.01	9.06	8.79
B	26	6.26	5.58	6.57	6.56	5.95
C	10	6.79	6.16	6.89	7.15	6.42
D	10	6.75	6.62	6.96	6.92	6.58
E	32	6.70	6.39	6.96	6.85	6.54
F	22	5.68	5.48	6.39	5.98	5.37
G	18	6.01	5.80	6.29	6.19	5.83
H	14	6.04	5.83	7.12	6.58	5.50

**H = 57.001 con 7 grados de libertad. (P <0.001)**

Comparación múltiple por pares usando el Método de Dunn's.

Negro: No hay diferencia significativa

Rojo: Si hay diferencia significativa

Zonas	A	B	C	D	E	F	G	H
A		80	55.7	42.65	44.69	96.57	91.89	69.14
B						16.57	11.89	
C		24.3				40.87	36.19	13.44
D		37.35	13.05		2.037	53.92	49.24	26.49
E		35.31	11.01			51.88	47.2	24.46
F								
G						4.679		
H		10.86				27.43	22.75	

## Nitrógeno en extracto de guano

Prueba Kruskal-Wallis análisis de varianza de una vía por rangos.

Zonas	N	Mediana (mg Kg <sup>-1</sup> )	25%	75%	IC +	IC -
A	18	30105.61	24832.50	38322.58	35129.45	25081.78
B	18	14629.53	12360.79	16176.00	16050.35	13208.71
C	18	22817.96	10660.80	50614.87	37697.24	7938.68
D	18	14954.84	11625.08	22637.21	19055.86	10853.82
E	18	9905.45	6720.70	14180.11	12683.41	7127.50
F	18	7941.13	5607.75	9260.16	9301.32	6580.94
G	18	4710.98	4197.99	6430.28	5542.30	3879.65
H	18	2828.13	1788.72	3317.77	3397.57	2258.70

**H = 111.142 con 7 grados de libertad. (P <0.001)**



## Óxido de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)

Prueba Kruskal-Wallis análisis de varianza de una vía por rangos.

Zonas	N	Mediana (mg Kg <sup>-1</sup> )	25%	75%	IC +	IC -
A	51	366858.158	319275.527	379166.046	380108.59	353607.72
B	78	134866.972	113224.638	145297.058	140604.72	129129.22
C	30	89445.753	50271.739	132163.597	113068.87	65822.64
D	27	48446.661	38179.582	95432.195	65855.53	31037.79
E	93	21748.469	17394.029	25984.441	23155.91	20341.03
F	69	36396.342	31372.3	47607.767	39484.48	33308.20
G	54	26454.085	18585.615	36482.624	30302.13	22606.04
H	42	16172.468	12414.335	18737.976	17714.17	14630.77

**H = 323.587 con 7 grados de libertad. (P <0.001)**

Comparación múltiple por pares usando el Método de Dunn's.

Negro: No hay diferencia significativa

Rojo: Si hay diferencia significativa

Zonas	A	B	C	D	E	F	G	H
A		94.23	131.2	165.4	299.2	203.8	263.3	361.1
B			36.97	71.14	205	109.6	169.1	266.9
C				34.17	168	72.64	132.1	229.9
D					133.9	38.47	97.93	195.8
E								61.9
F					95.41		59.46	157.3
G					35.95			97.85
H								

## Fosfatos (PO<sub>4</sub>)

Prueba Kruskal-Wallis análisis de varianza de una vía por rangos.

Zonas	N	Mediana (mg Kg <sup>-1</sup> )	25%	75%	IC +	IC -
A	51	482156.437	419619.264	498332.518	499571.29	464741.58
B	78	177253.735	148809.524	190961.847	184794.78	169712.69
C	30	117557.275	66071.429	173700.728	148604.80	86509.75
D	27	63672.755	50178.88	125425.17	86552.98	40792.53
E	93	28583.702	22860.723	34150.979	30433.48	26733.92
F	69	47835.192	41232.165	62570.208	51893.89	43776.49
G	54	34768.227	24426.808	47948.591	39825.66	29710.79
H	42	21255.244	16315.984	24627.054	23281.48	19229.01



## Sólidos suspendidos totales

Prueba Kruskal-Wallis análisis de varianza de una vía por rangos.

Grupos	N	Mediana (mg Kg <sup>-1</sup> )	25%	75%	IC +	IC -
A	51	304000	297000	307000	306212.44	301787.56
B	78	247300	239400	262600	251450.47	243149.53
C	30	281500	267000	292000	288711.68	274288.32
D	27	284000	276000	288000	287648.85	280351.15
E	93	259000	255000	272000	261785.25	256214.75
F	69	287000	282500	291000	288616.78	285383.22
G	54	274000	270000	278000	275720.09	272279.91
H	42	321000	317750	329000	323742.74	318257.26

**H = 310.265 con 7 grados de libertad. (P <0.001)**

Comparación múltiple por pares usando el Método de Dunn's.

Negro: No hay diferencia significativa

Rojo: Si hay diferencia significativa

Zonas	A	B	C	D	E	F	G	H
A		287.4	135.1	129.2	222.2	95.9	139.7	
B								
C		152.3			87.04		4.552	
D		158.2	5.92		92.96		10.47	
E		65.22						
F		191.5	39.22	33.3	126.3		43.77	
G		147.7			82.49			
H	58.07	345.5	193.2	187.3	280.2	154	197.7	