



**MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL**  
**INSTITUTO ANTARTICO ECUATORIANO**  
**GUAYAQUIL**

**INFORME DE TRABAJOS DE CAMPO EN LAS EXPEDICIONES A LA**  
**ANTARTIDA**

**Expedición: XVI**

**Informe del Proyecto T-05-10.3**  
**Evaluación de un Sistema de Navegación Inercial para un**  
**Robot Submarino para altas latitudes**

**INSTITUCIONES PARTICIPANTES:**

- **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL (ESPOL)**  
**Arturo Cadena Torres**

**LUGAR: Estación Pedro Vicente Maldonado - Antártica**

Antártica, 31 de enero de 2012

## Descripción del Proyecto

### 1. Antecedentes:

La Antártida juega un papel importante en el sistema climático mundial, por tanto es necesario conocer como el Cambio Climático afecta a esta región del planeta. De ahí surgen dos preguntas fundamentales acerca del Continente Antártico:

1. Cuanta agua dulce proveniente del derretimiento de los glaciares se esta añadiendo al mar?

2. Como afecta esto a la Vida Marina Antártida?

Para contribuir a responder estas preguntas es necesario realizar mediciones, en aguas Antárticas, de temperatura, conductividad y presión hidrostática para estimar la salinidad, adquirir imágenes submarinas para determinar las especies que habitan en un sector determinado y recolectar muestras biológicas. El derretimiento de los glaciares está causando cambios en los océanos que afectan a diferentes especies, se ven obligadas a desplazarse a otros lugares donde encuentren mejores condiciones para su desarrollo. A través de las imágenes submarinas y las mediciones de un sensor CTD se puede estudiar de forma más detallada el impacto del derretimiento de los glaciares en un área en particular.

Para la XVI Expedición Ecuatoriana a la Antártida se propone desplegar un Robot Submarino tipo Autónomo Híbrido o HAUV (Hybrid Autonomous Underwater Vehicle) para transportar equipos y sensores a lo largo de una trayectoria predefinida. Entre los equipos que se transportan a bordo del robot está un microscopio sumergible con placa de muestreo rotativa que permite obtener imágenes submarinas de los microorganismos que habitan la columna de agua *in situ*. Las imágenes obtenidas con el microscopio son almacenadas en una memoria SD card para su posterior análisis. El robot está equipado con un sistema de sensores infrarrojos para la detección del piso marino. Las áreas de estudio comprenden la Isla Dee, Isla Barrientos, Ensenada Guayaquil, Paso Orión, Punta Ambato, Punta Hermosilla y Bahía Chile. Algunos de los equipos y sensores del robot requieren calibración que se la puede efectuar en el Módulo de Laboratorio de la Estación Maldonado. **El alcance de este proyecto no incluye el análisis de los datos científicos, solo el de los datos de funcionamiento de los sistemas del Robot Submarino.**

El despliegue de este robot submarino en la XVI Expedición permitirá obtener información de ingeniería de suma importancia para el diseño y construcción de un robot submarino para navegación Antártica que puede trabajar de forma autónoma o teleoperado, equipado con un brazo robot para recolección de muestras del piso marino. Este último robot es el producto final del presente proyecto de investigación el cual tiene suficiente grado de automatización para ser operado directamente por un oceanógrafo o biólogo de forma segura. La misma información recopilada durante la XVI Expedición permitirá desarrollar a futuro un robot submarino tipo "High Endurance", con capacidad de operar bajo la capa de hielo polar, con el propósito de realizar un Censo de la Vida Marina Antártica durante el invierno Antártico.

## **2. Objeto General del Proyecto / Componente:**

Desplegar un Robot Submarino, desarrollado en el país, en la Antártida con el fin de obtener datos de funcionamiento del robot, imágenes submarinas y mediciones oceanográficas.

## **3. Objetivos Específicos del Proyecto / Componente:**

- Desarrollar un software de guiado inercial, navegación y control para equipar a un robot submarino tipo autónomo con capacidad de operar en aguas ecuatoriales y antárticas.
- Obtener información de ingeniería de los robots submarinos desplegados en la Antártida para el diseño y construcción de un robot submarino, apto para navegación Antártica, que pueda trabajar de forma autónoma o teleoperado, equipado con un brazo robot para recolección de muestras del piso marino.
- Recolectar información oceanográfica a través de los sensores del robot, imágenes submarinas y muestras del piso marino Antártico.

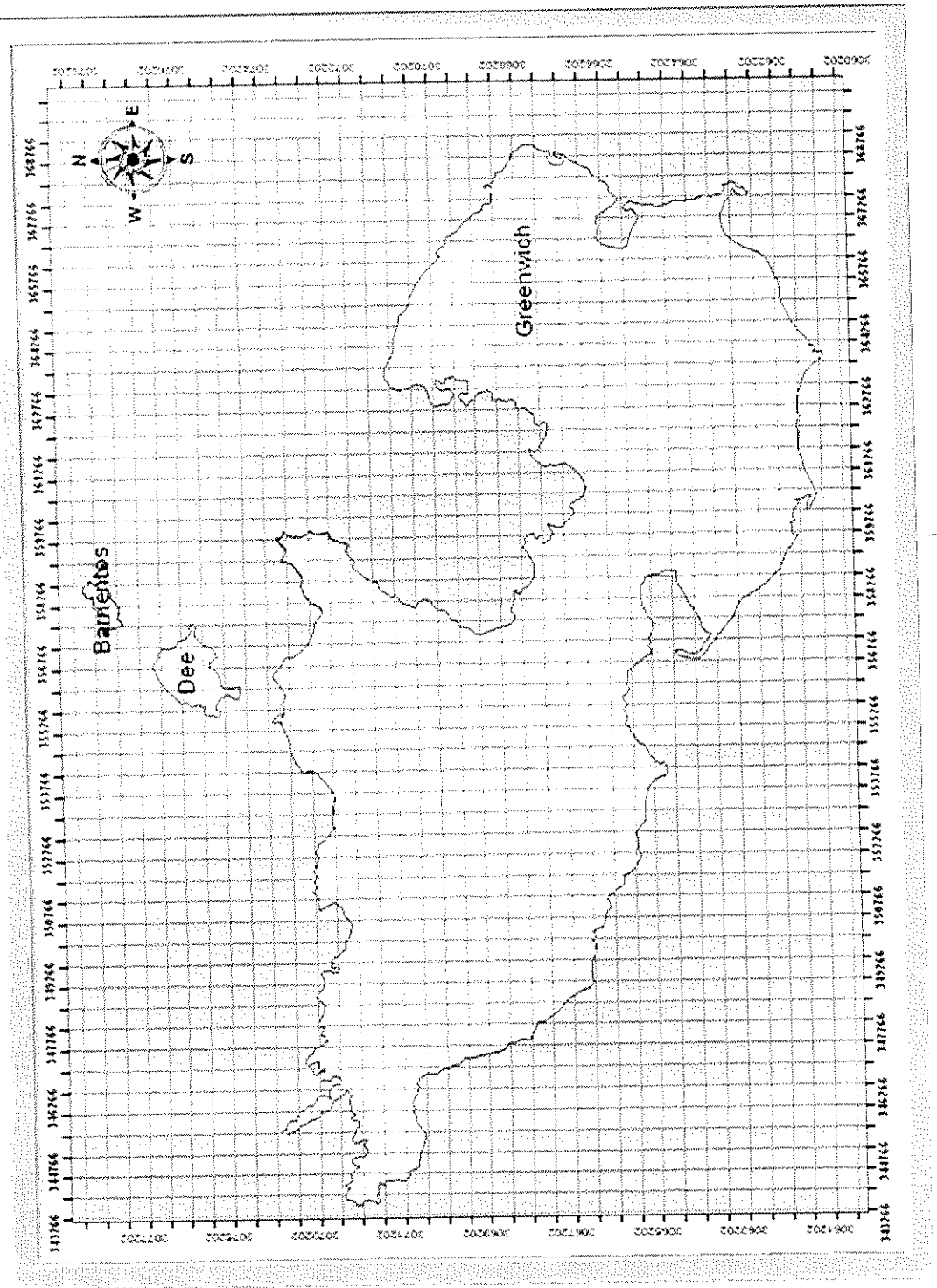
## **4. Hipótesis del Proyecto / Componente:**

A partir del año 2007 en el país se ha venido desarrollando Robots Submarinos para aplicaciones oceanográficas y biológicas. Debido al poco presupuesto y las limitaciones de la tecnología local surgió la necesidad de desarrollar un sistema de ingeniería totalmente diferente al empleado en países desarrollados para construir Vehículos Submarinos Autónomos para ambientes polares. Uno de los propósitos de este proyecto es verificar el correcto funcionamiento de esta nueva tecnología en la Antártida para saber cuales son sus fortalezas y debilidades con el fin de mejorarla y que sirva de base para el diseño de futuros Robots Submarinos.

Debido al cambio climático, los glaciares en la Antártida experimentan cambios, uno de los objetivos de este proyecto es adquirir datos científicos que pueden servir para estimar como afecta a la vida marina Antártica estos cambios a través de la adquisición de imágenes submarinas y mediciones oceanográficas.

## **5. Área de Estudio (determinar donde se efectuó el trabajo. Incluyendo coordenadas geográficas, planos o levantamientos):**

El área de estudio comprendió la Ensenada Guayaquil, Isla Dee e Isla Barrientos hasta una profundidad de 40m.



## 6. Cronograma del Trabajo de Campo Efectuado:

FECHA	ACTIVIDADES	OBSERVACIONES
11/01/2011	Puesta a punta del girocompás del robot a bordo del buque de la Armada de Chile "Aguiles"	El sistema funcionó sin novedad
14/01/2011	Preparación del lugar de trabajo en el	

	laboratorio de la Estación Pedro Vicente Maldonado	
15/01/2011	Inspección de las partes del robot submarino	Se constató la pérdida de una tarjeta electrónica de comunicación que enlaza los sensores oceanográficos y la computadora del robot
16/01/2011	Ensamblaje de los propulsores del robot	
17/01/2011	Calibración de los propulsores del robot. Instalación de los conectores del cableado estructurado del robot.	
18/01/2011	Fijación de los propulsores a la estructura principal del robot. Instalación de la computadora del robot	El propulsor de estribor no encajó suavemente en el punto de fijación mecánico
19/01/2011	Calibración del sistema de guía inercial del robot.	
20/01/2011	Prueba de flotabilidad del robot en el estanque de agua dulce.	
21/01/2011	Ajuste fino de flotabilidad del robot	
22/01/2011	Prueba de inmersión del robot en la Ensenada Guayaquil e Isla Barrientos.	Por problemas en el compartimiento de popa, se canceló la prueba en Isla Dee.
23/01/2011	Reparación del sello principal del compartimiento de popa	
24/01/2011	Análisis preliminar de los datos de ingeniería del robot. Realineación del girocompás del robot	
25/01/2012	Prueba de inmersión en la Ensenada Guayaquil a 40 m de profundidad	Por problemas térmicos, se averió la batería de la cámara digital submarina. Consecuente se corrompió el archivo de video. Se obtuvo muestra de sedimento
26/01/2012	Prueba de inmersión en Isla Dee	Se logró grabar un pez en la columna de agua. Se obtuvo una estrella de mar.
27/01/2012	Prueba de inmersión en Isla Barrientos sin propulsores de estribor y babor	Se logró obtener un reajuste del sistema de control de

		profundidad del robot.
28/01/2012	Prueba de inmersión en Isla Barrientos	El robot se atasco con la línea de vida cuando alcanzó el piso marino. Se obtuvo una muestra de organismos del sedimento.
29/01/2012	Elaboración de la presentación del proyecto e informe de actividades.	
30/01/2012	Informe de actividades. Desensamblaje del robot.	
31/01/2012	Estiba del robot para ser transportado a Guayaquil. Elaboración del informe de campo del proyecto.	

## 7. Descripción del Trabajo de Campo / Metodología para la Obtención de Datos:

### *Viaje a la Antártida*

El proceso de envío del Robot Submarino a la Antártida se lo realizó, durante el vuelo Guayaquil- Punta Arenas, se transportó en el equipaje de mano los elementos más delicados del Robot Submarino como la computadora, giroscopios y acelerómetros.

### *Ensamblaje y puesta a punto del Robot Submarino en la Estación Maldonado*

Cuando se arribó a Estación Maldonado, se realizaron pruebas con el Sistema de Navegación Inercial y GPS del Robot Submarino para calibrarlo.

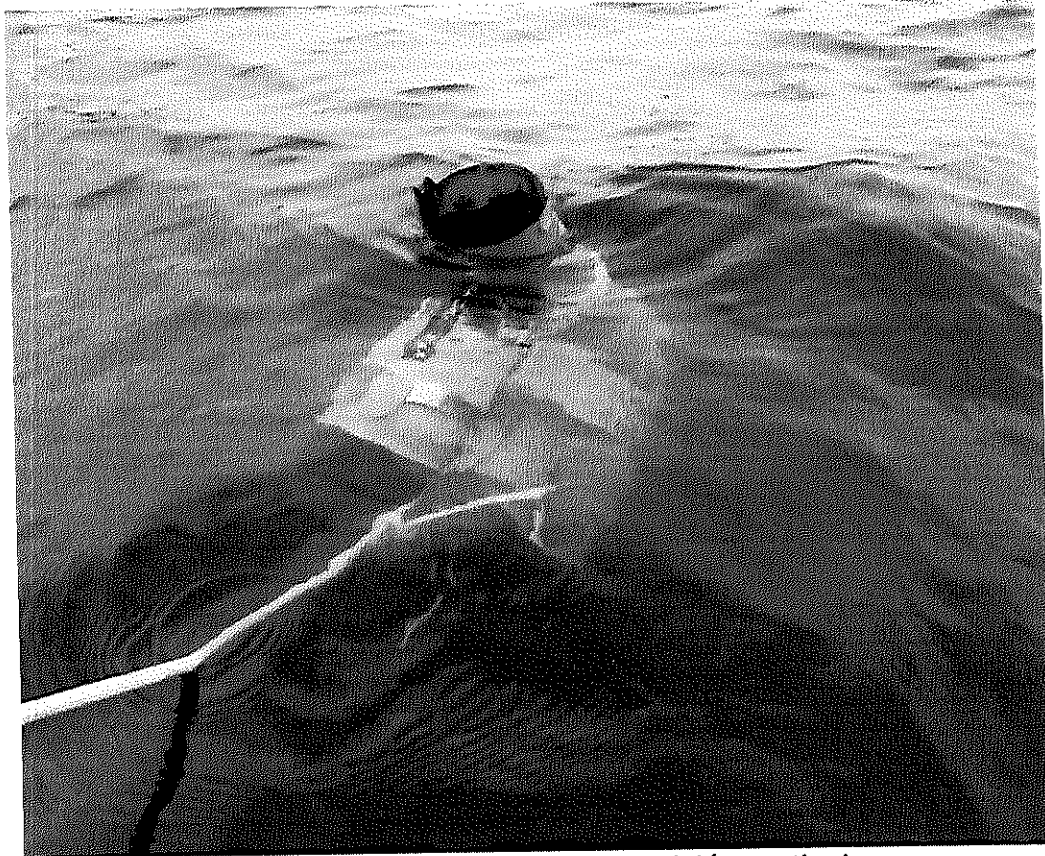
Una vez operativo el puesto de trabajo en el laboratorio, se procedió a ensamblar el Robot Submarino, calibrar el sistema de navegación inercial y prepararlo para el mar. Se realizaron dos pruebas de inmersión en estanque de agua dulce para ajustar los siguientes parámetros:

- Estabilidad del Robot en la columna de agua
- Flotabilidad
- Integridad del Sistema Eléctrico
- Hermeticidad del compartimiento de la computadora
- Calibración del Centro de Masa y Centro de Flotación



Robot Submarino listo para navegar en el mar

Una vez obtenida la información de estos parámetros se efectuaron las pruebas de inmersión. El robot se lo transportó a bordo del cuadron hacia la playa de desembarco para embarcarlo en el bote zodiac. Con fines de exploración y obtener datos de ingeniería, desde el Zodiac se desplegó el Robot Submarino en los siguientes puntos: Punta Orión, Ensenada Guayaquil, Isla Dee e Isla Barrientos. Durante estas misiones se obtuvieron imágenes submarinas, datos oceanográficos y de funcionamiento del Robot. Por motivos de seguridad se conectó el Robot Submarino a un flotador en la superficie para conocer cual es su posición. Antes de una misión, en base a la Carta Náutica se definió la trayectoria que debe seguir el Robot Submarino, acción que es ejecutada por el Robot de forma totalmente autónoma. Una de las capacidades que tiene el robot es descender en el agua de forma totalmente vertical, cuando alcanza el fondo retorna a su orientación normal con el fin de recolectar una muestra del piso marino. Un inconveniente que se tuvo en una inmersión fue el descenso demasiado rápido que causó una colisión con el piso marino, fue necesaria una prueba de inmersión para re-calibrar este grado de libertad prescindiendo de los propulsores axiales. Culminadas las misiones se procedió a dar mantenimiento al Robot en el Módulo de Laboratorios.



Robot Submarino descendiendo en posición vertical.

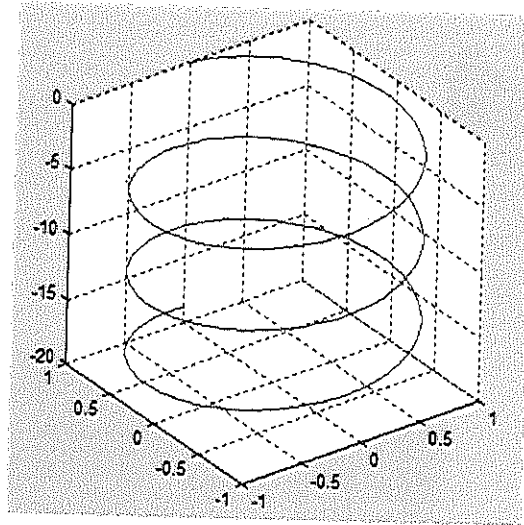
El robot fue sometido a condiciones extremas de funcionamiento cuando colisionó en reiteradas ocasiones contra la superficie del piso marino. Esto puso a prueba la integridad del CPU y la autoprotección del sistema de navegación inercial.

Entre los sensores del robot, estaba considerado un sensor de pH, un conductímetro y sensor de temperatura. Durante el traslado vía aérea, se perdió una tarjeta electrónica de comunicación, elemento indispensable para conectar la computadora del robot y los sensores oceanográficos. Por lo tanto o fue posible instalar estos sensores en el robot. Otro dispositivo que no se logró poner en operación fue el microscopio debido a que arribó a la Estación Maldonado con problemas en la soportería mecánica, no se dispuso del tiempo necesario para realizar las reparaciones del mismo.

#### **8. Datos Obtenidos:**

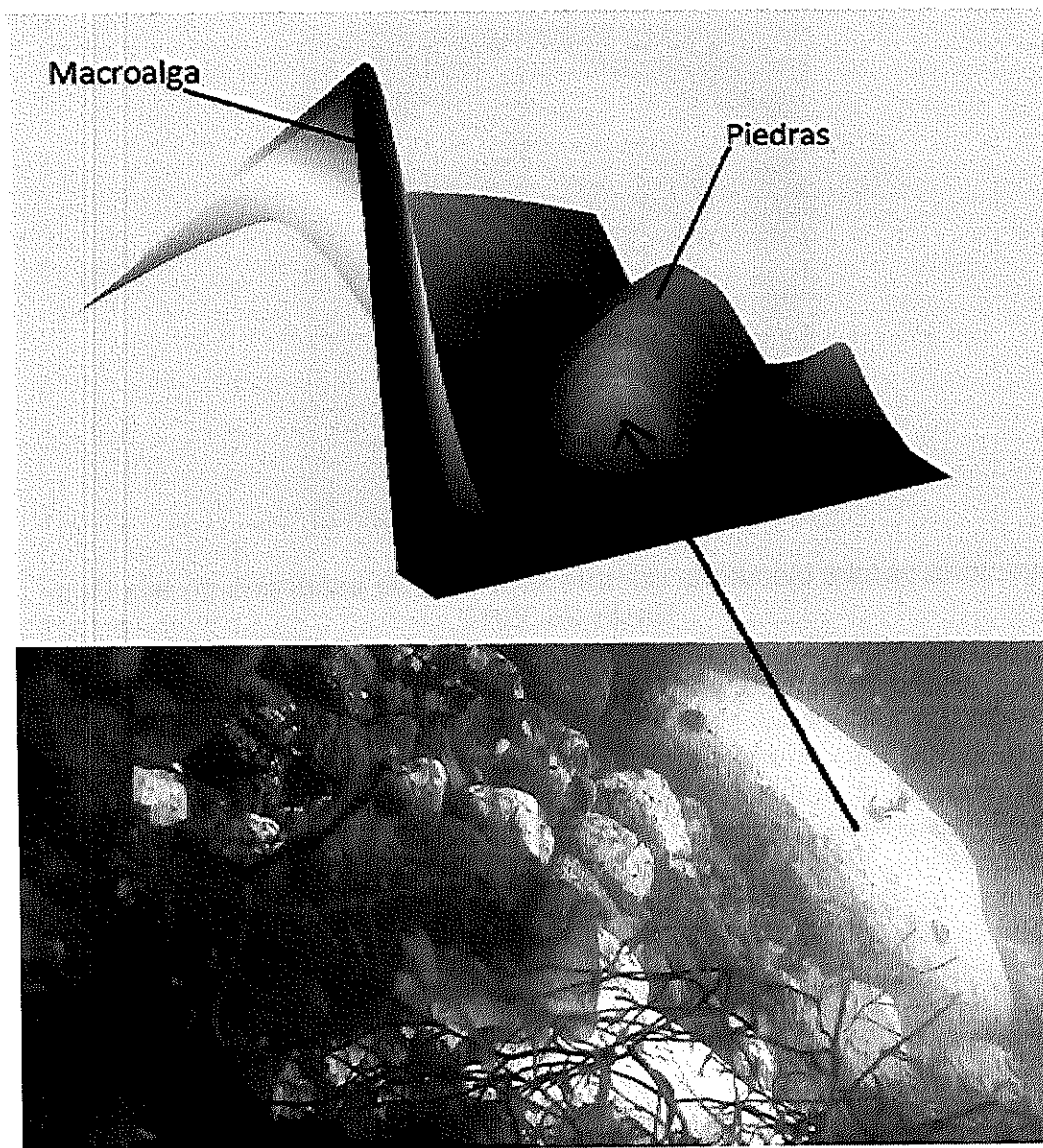
Se obtuvo imágenes submarinas durante las pruebas de inmersión, información oceanográfica, específicamente medición de corrientes y datos de ingeniería. A continuación se muestran los datos más relevantes. Entre los datos de ingeniería se encuentra la trayectoria ejecutada del robot, por motivos de seguridad del robot, se programó una trayectoria en forma de espiral.





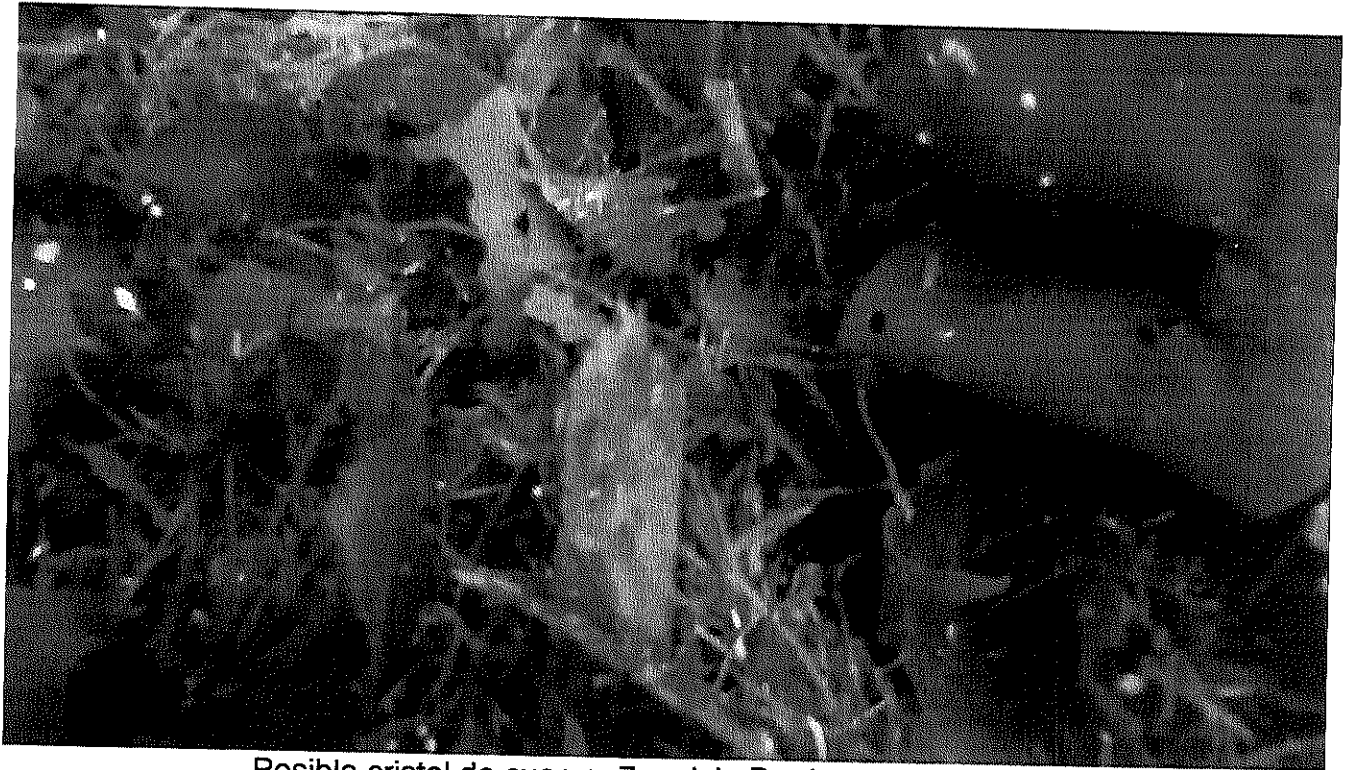
Trayectoria parcial ejecutada durante la prueba de inmersión en Isla Dee,  
Enero 26. 2012

El robot emplea sensores infrarrojos para medir la distancia entre el piso marino y la quilla, el alcance máximo de este sensor en el mar es de 1,50 m en buenas condiciones. Periódicamente se muestrea el dato de este arreglo de sensores y se lo correlaciona con la posición geográfica y datos cinemáticos del robot, permitiendo generar un modelo digital del terreno recorrido por el robot submarino. Mediante algoritmos de interpolación se pueden generar aproximaciones de la superficie del piso marino. Empleando redes bayesianas y distribución de probabilidad normal, se generó la siguiente gráfica de un sector del piso marino en Isla Dee, a una profundidad de 5m.



Modelamiento digital del terreno generado a partir de los datos del robot en Isla Dee e imagen submarina de referencia. El robot esta con  $+42^{\circ}$  de roll.

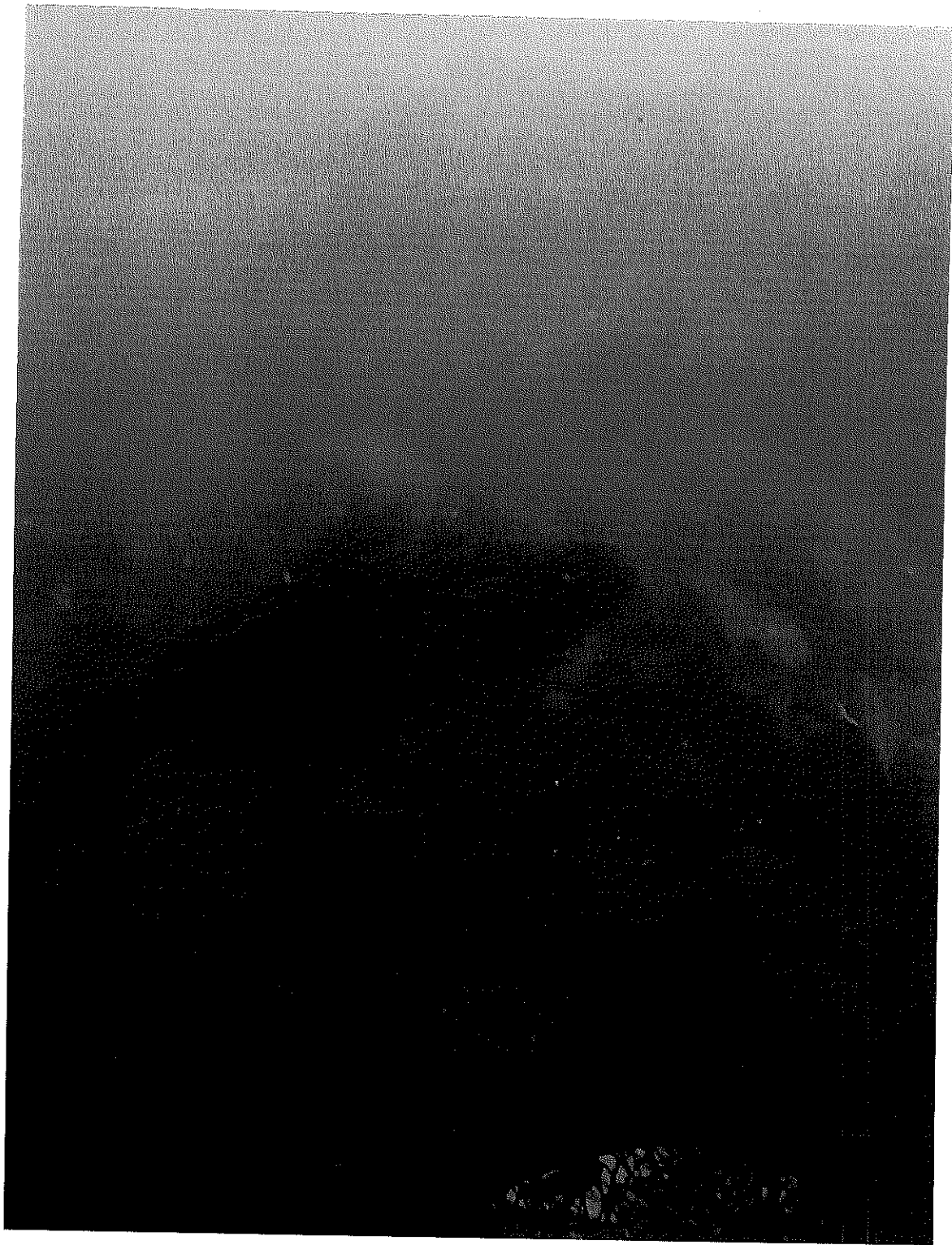
Las imágenes submarinas más destacadas durante la expedición se muestran a continuación



Posible cristal de cuarzo, 7 m, Isla Barrientos

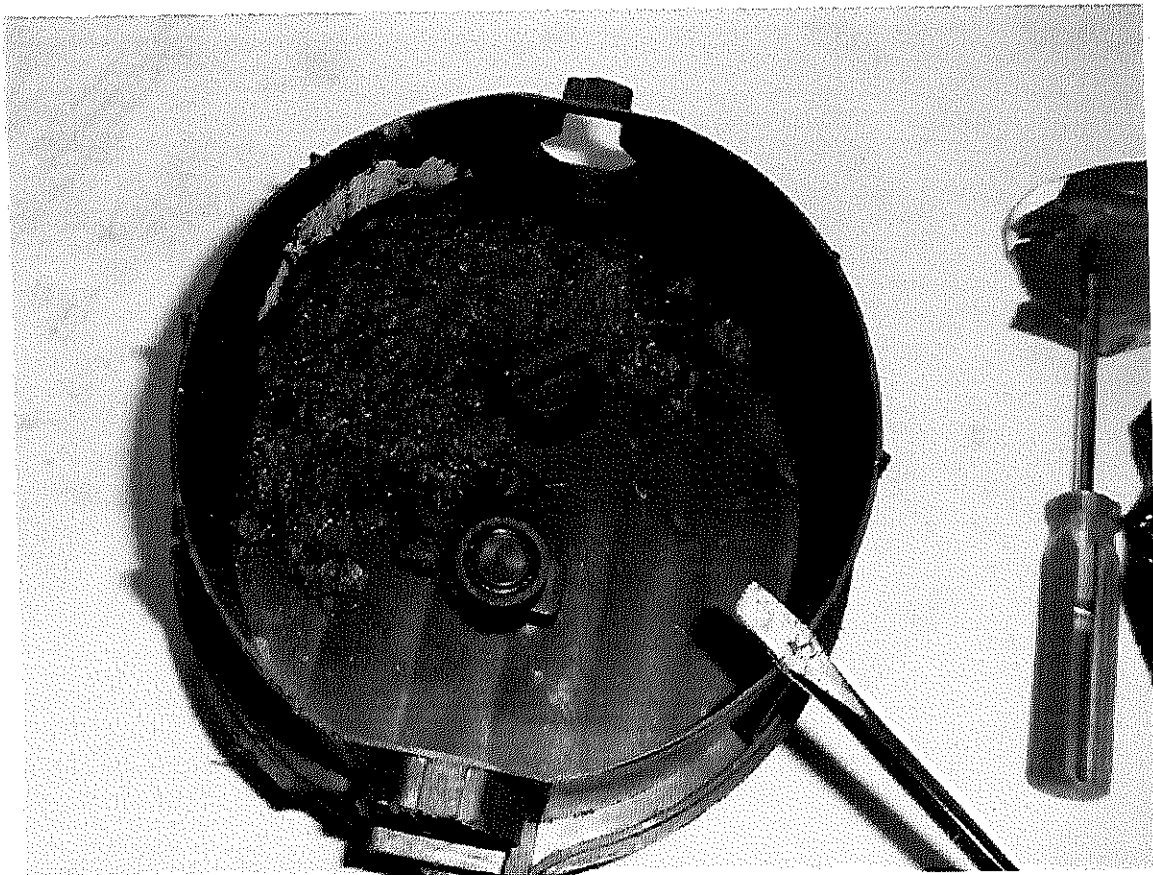


Piso Marino en Isla Barrientos, 20 m de profundidad. El robot está inclinado  $35^\circ$



Pez Antártico grabado a 5m, Isla Dee.

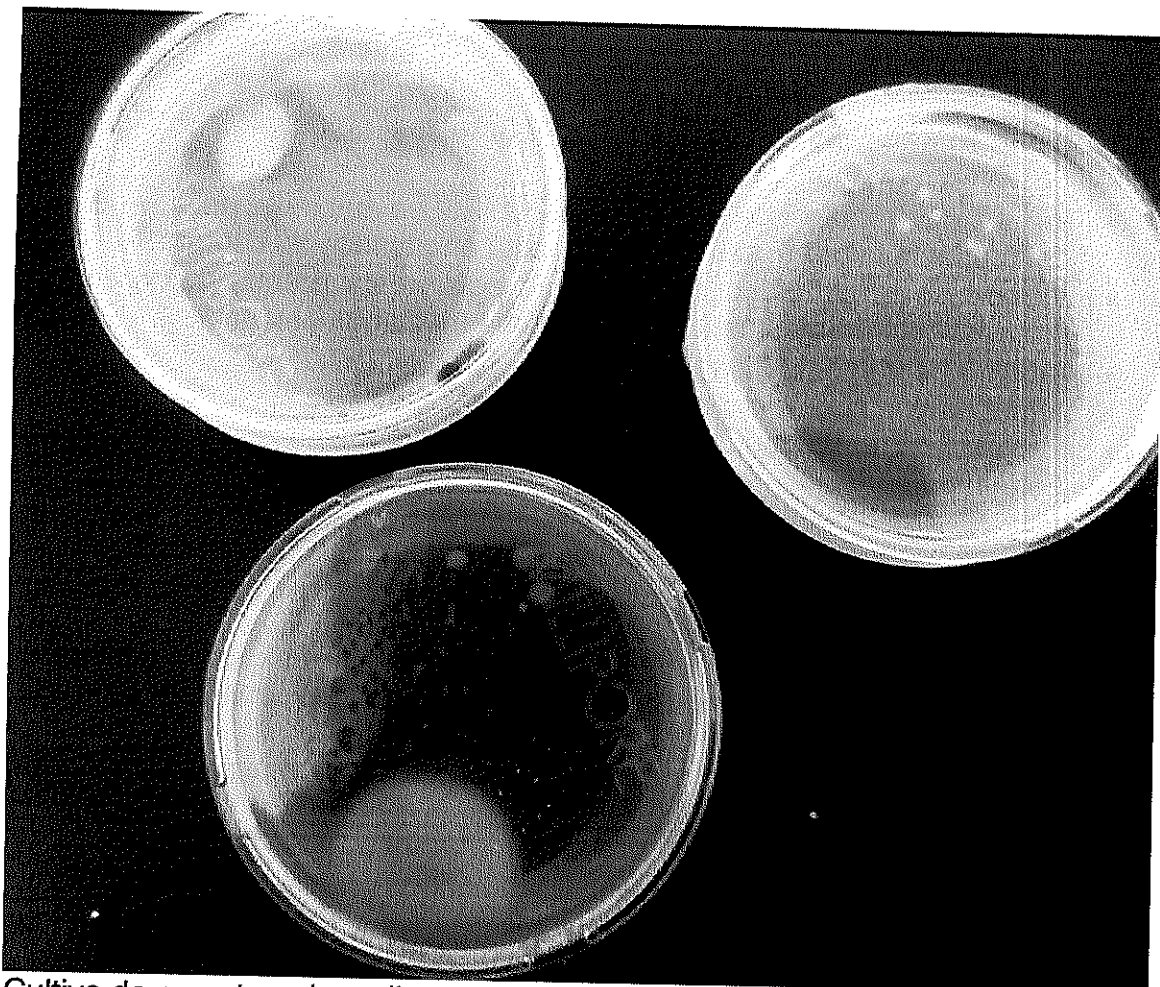
Las muestras recopiladas por el robot submarino son:



Muestra de sedimento marino, Ensenada Guayaquil, 38 m de profundidad

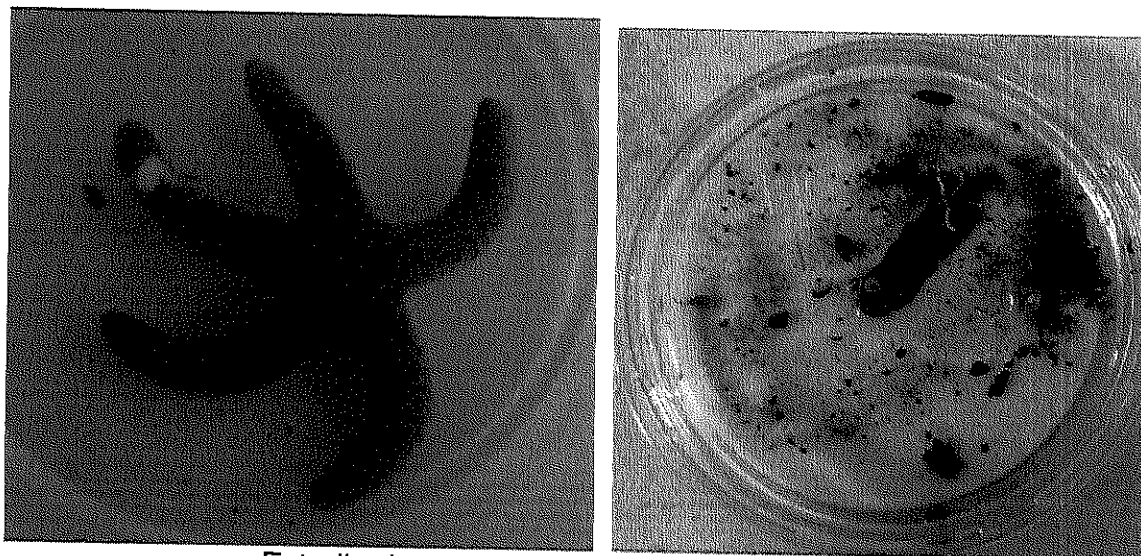
A partir de esta muestra, con la colaboración del Dr. Miguel Gualoto, se efectuó un cultivo para determinar la existencia de bacterias. Después de incubar los cultivos se observaron la aparición de varias colonias.





Cultivo de muestras de sedimento de la Ensenada Guayaquil recolectado por el robot

También se recolectó una estrella de mar en Isla Dee y organismos sedimentarios en Isla Barrientos.



Estrella de mar y organismos sedimentarios

La estrella de mar y los organismos sedimentarios serán transportados al continente. El resto será descartado.

## **9. Trabajos Pendientes Relacionados con el Proyecto:**

- Prueba de propulsor de motor sin escobillas en ambiente polar. Al cierre del presente informe, este propulsor está en proceso de compra.
- Prueba de Brazo Robot en ambiente polar. Esta prueba, junto con el propulsor, serán efectuadas en Canada a mediados del 2012.
- Análisis de datos de ingeniería
- Análisis de las muestras recopiladas por el robot.
- Publicación de los resultados en el OSC 2012 a llevarse a cabo en los Estados Unidos.

## **10. Conclusiones:**

- No se logró poner en operación al robot en un 100%, los sensores oceanográficos y el microscopio no se los pudo poner en estado operativo.
- El tiempo de ensamblaje y calibración del robot fue mayor al esperado, razón por la cual no fue posible desplegar el robot en Punta Hermosilla e Isla Dee.
- El sistema de navegación inercial funcionó de forma satisfactoria bajo condiciones extremas de funcionamiento.
- Se logró recopilar muestras del piso marino.
- El software empleado en el robot submarino tiene suficiente grado de confiabilidad para equipar a una plataforma de mayor costo.

## **11. Recomendaciones:**

- Se requiere que el zodiac cuente con un sistema de izado para la maniobra de despliegue en el mar del robot submarino para evitar maltratos tanto al zodiac como al robot.

## **12. Agradecimiento:**

Agradecimiento a la ESPOL por el aval académico al presente proyecto de investigación y al Instituto Antártico Ecuatoriano. También al Dr. Miguel Gualoto por la colaboración prestada en el cultivo de bacterias obtenidas de las muestras de sedimento.