



FACULTAD DE MEDICINA
UNIVERSIDAD DE CHILE



ICBM
INSTITUTO
DE CIENCIAS
BIOMÉDICAS

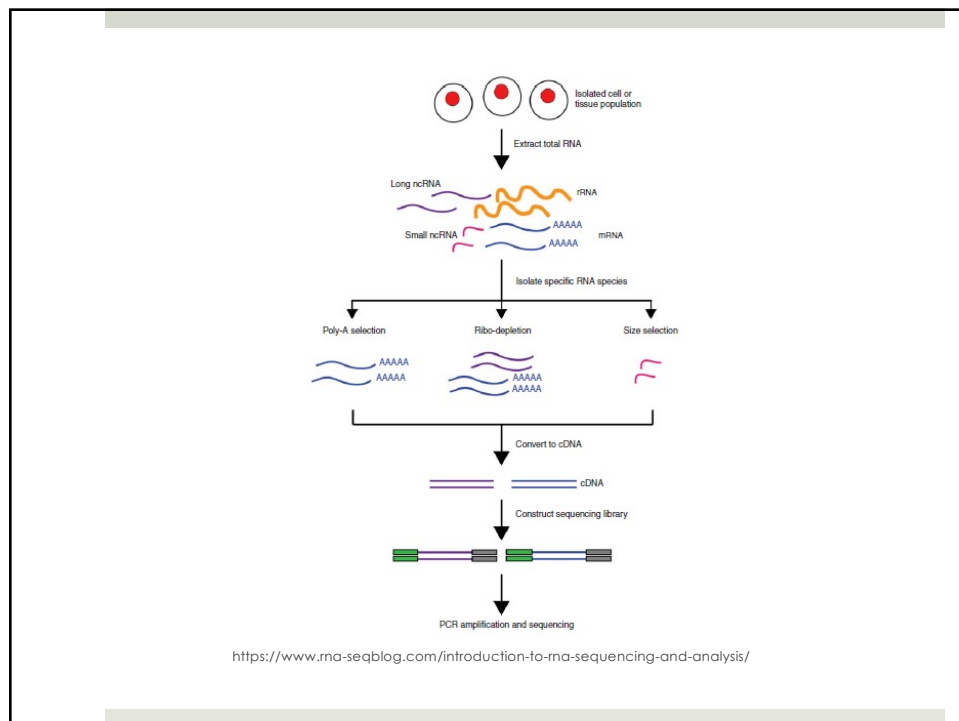
Transcriptómica mediante secuenciación

Alejandro Sepúlveda G. y Ricardo A. Verdugo

Programa de Genética Humana, ICBM

Diciembre 2025

1



2

¿Qué utilidad tiene?

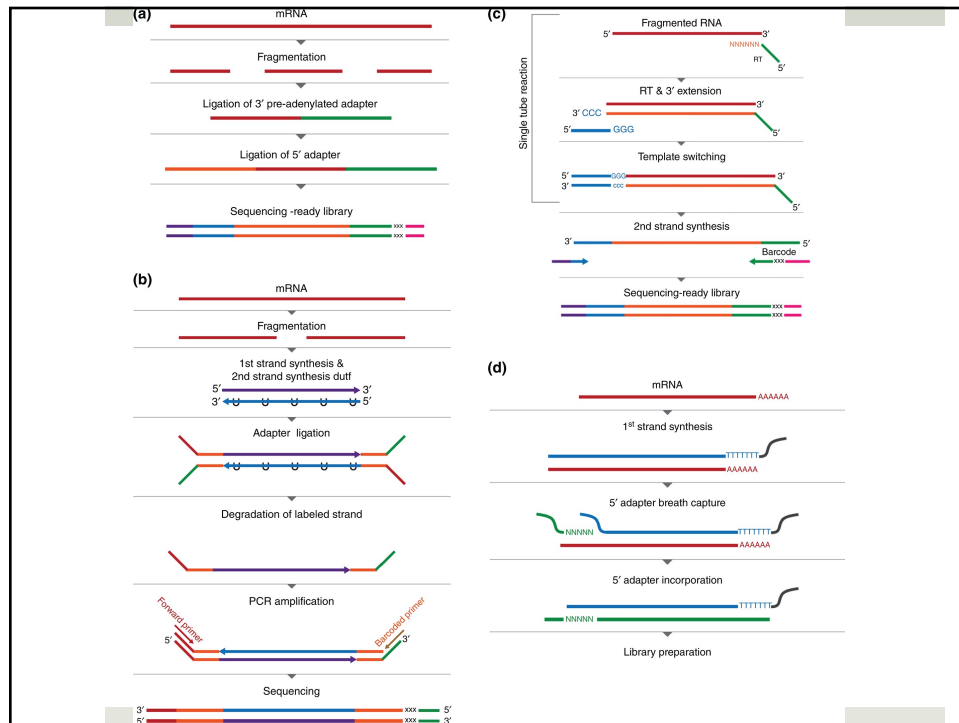
- Medir cuantitativamente expresión génica.
- Construir un mapa transcriptómico.
- Descubrir nuevos genes.
- Identificar sitios de *splicing*.

3

Consideraciones generales

- Generalmente se secuencia cDNA
- La preparación de librerías dependen del tipo de RNA, y varían en cuanto a la forma de:
 - Capturar las moléculas de RNA interés
 - Convertir RNA a cDNA
 - Agregar los adaptadores
- Detalles en *WIREs RNA* 2017, 8:e1364. doi: 10.1002/wrna.1364

4



5

Metodos de secuenciación

■ DGE-seq (Tag-Seq):

- Secuenciación profunda
- Digestión con enzima de restricción
- Solo una región del transcrito (~21pb)
- Económico, nivel expresión del gen

■ Secuenciación de extremo 3'

- Usan oligo(dT) como primer de RT
- Económico, nivel expresión del gen

- Alta variabilidad
- Sesgo
- Efectos de batch

6

Métodos para discriminación de transcritos

- Detección de alternativas de splicing (isoformas)
 - Uniones exón-exón (ej. RASL-Seq)
 - Comparación estadística de lecturas dentro de exones

- Detección de fusiones de genes (ej. En cáncer)
 - Enriquecimiento para genes de interes
 - Captura de exones
 - Single-molecule real-time sequencing (SMRT) on the PacBio
 - SLR-RNA-Seq en Illumina MOLECULO system

7

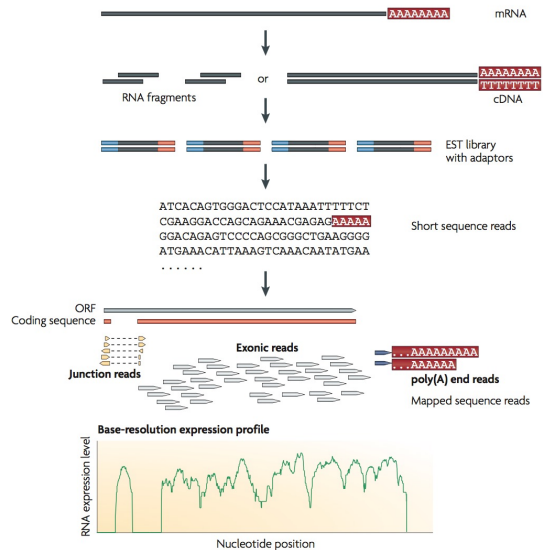
Distintos métodos para interrogar cada aspecto del ciclo de vida del RNA

Purpose	Methods	RNA Species Sequenced
Transcribing RNA polymerase	GRO-Seq ¹⁰²	Nascent RNA transcribed <i>in vitro</i>
RNA synthesis, processing and degradation	NET-Seq ¹⁰³⁻¹⁰⁵	Nascent RNA associated with RNA polymerase <i>in vivo</i>
	4sU-Seq ¹⁰⁶⁻¹⁰⁸	Newly synthesized RNA labeled with 4-thiouridine (4sU) <i>in vivo</i>
Translational status	Ribosome profiling (Ribo-seq) ⁹⁹	Ribosome-bound mRNA fragments protected from RNase digestion
RNA-protein interactions	RIP-Seq ¹⁰⁹⁻¹¹¹	RNA in immunoprecipitated ribonucleoprotein complex
	HIT-CLIP/CLIP-seq, ¹¹²⁻¹¹⁴ iCLIP ¹¹⁵	RNA fragments crosslinked to interacting proteins by UV (254 nm)
	PAR-CLIP ¹¹⁶	RNA labeled with 4sU and crosslinked to interacting proteins by UV (365 nm)
RNA structure probing	PARS, ¹¹⁷ FragSeq ¹¹⁸	RNA fragments generated by RNases digesting double-stranded regions (V1) or single-stranded regions (S1 or P1)
	DMS-Seq ¹¹⁹ , SHAPE-S ¹²⁰ icSHAPE ¹²¹	Unstructured RNA regions labeled with reactive chemicals
RNA-RNA interactions	RAP-RNA ¹²²	RNA isolated by antisense probe

Hrdlickova, R., Toloue, M., Tian, B., 2017, RNA-Seq methods for transcriptome analysis: RNA-Seq, Wiley Interdisciplinary Reviews: RNA, doi:10.1002/wrna.1364

8

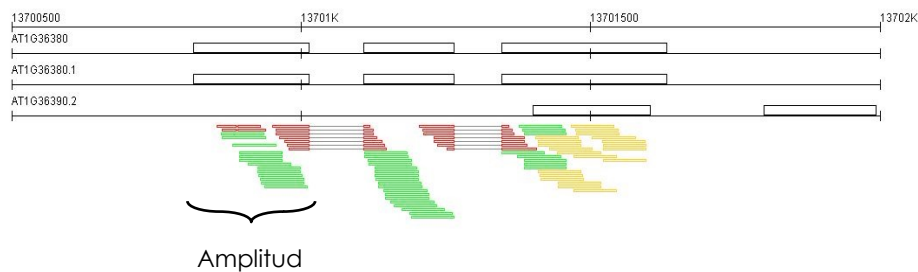
RNA Sequencing



Wang, Z., Gerstein, M., Snyder, M., 2009. RNA-Seq: a revolutionary tool for transcriptomics. Nature Reviews Genetics 10, 57-63. doi:10.1038/nrg2484

9

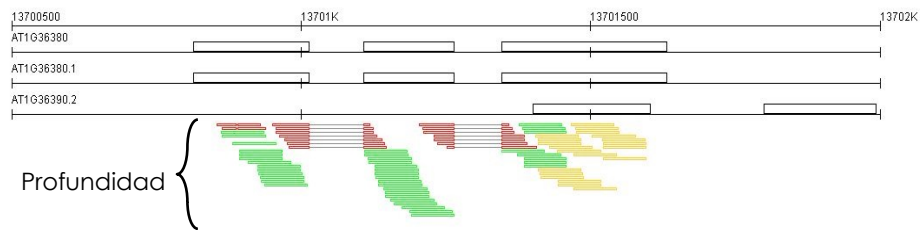
Abundancia de un Transcrito



Porcentaje promedio de una entidad nucleotídica mayor, cubierta por una o más unidades nucleotídicas menores.

10

Abundancia de un Transcrito

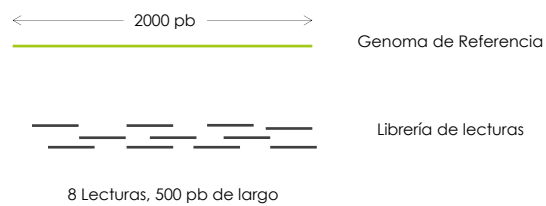


Número de veces que una entidad nucleotídica determinada, ha sido leída mediante un proceso de secuenciación.

11

Profundidad de Cobertura

■ Ejemplo



Profundidad = ?

12

Profundidad de Cobertura

- G = Largo completo del genoma.
- N = Número de lecturas.
- L = Largo de lecturas.

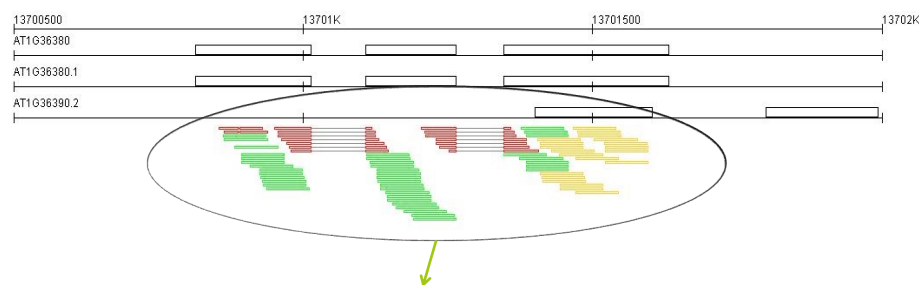
$$D = \frac{N * L}{G}$$



$$D = \frac{8 * 500}{2000} = 2X$$

13

Abundancia de un Transcrito



Número de lecturas dependen del tamaño

14

Normalización de Abundancia

RPKM

Reads per Kilobase of exon model per Million of reads mapped.

$$RPKM = \frac{10^9 \cdot C}{N \cdot L}$$

■ Donde:

- C = Número de lecturas mapeadas por gen.
- N = Total de lecturas.
- L = Largo del exón.

15

Expresión Diferencial

- Secuenciar un organismo bajo 2 o más condiciones experimentales diferentes.
 - Estimulado vs No-estimulado.
 - Wild-type vs Mutante.
- Comparar niveles de expresión en genes de interés.
- Pruebas estadísticas:
 - T-test.
 - F-test.
 - **Exact Test.**

16

Exact Test

- Sea Y_{ij} la abundancia observada para el gen 'j' en la librería 'i'

$$Y_{ij} \sim NB(\mu_i, \phi)$$

- Distribución **Binomial Negativa** modela sucesos ocurridos en un intervalo de tiempo ó espacio.

$$E(Y_{ij}) = \mu_{ij} = m_i \lambda_{ij}$$

$$\text{var}(Y_{ij}) = \mu_{ij} + \phi_g \mu_{ij}^2$$

17

Exact Test

$$H_0 : \mu_{1j} - \mu_{2j} = 0$$

- Definir si diferencias de conteos entre librerías son significativas.
- Dada una diferencia entre promedios observada:

¿Cuál es la probabilidad de encontremos una diferencia igual o mayor asumiendo H_0 ?



Valor P

18

Exact Test

- Dado un valor de α previamente definido
 - 0.05
 - 0.1
 - 0.2

- Rechazar H_0 si:
 - $P\text{-valor} < \alpha$

!Gen J está diferencialmente expresado!

19

Práctico

- *Sulfolobus acidocaldarius*
 - Arqueobacteria termo-acidofílica.
 - Habita en medios por sobre 80° C y con PH ~ 2.
- Lrs14-like: Factor de transcripción con rol clave en la formación de biopelícula.
 - Medio preferencial de crecimiento de este organismo.
- ¿Qué otros genes se ven afectados por la expresión de Lrs14-like?
- Si se cambia el medio de crecimiento ¿Cómo afecta en la expresión génica?

20

Hipótesis

1. Lrs14-like, regula la expresión de otros genes en el proceso de formación de biopelículas.
2. Realizar un cultivo de esta bacteria en un medio diferente a biopelícula, afecta la expresión génica.

21

Experimento

■ Secuenciación de 4 muestras

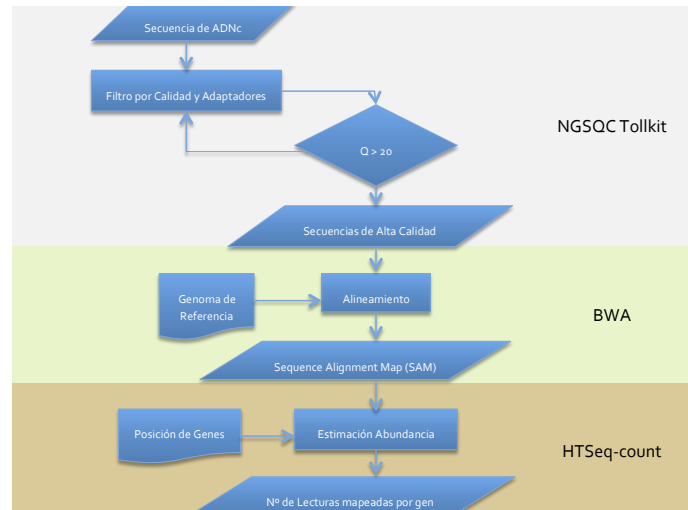
Wild Type, Plantónico	Wild Type, Biopelícula
Mutante, Plantónico	Mutante, Biopelícula

■ Plataforma Illumina HiSeq 2500

Muestra	Tamaño	Largo Lecturas
Wild Type, Plantónico	~ 22.4 M	94 pb
Wild Type, Biopelícula	~ 24.9 M	
Mutante, Plantónico	~ 22.4 M	
Mutante, Biopelícula	~ 25.3 M	

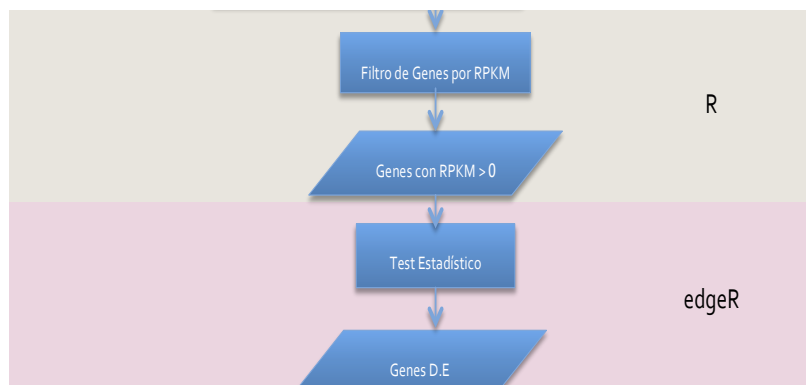
22

Flujo de Trabajo



23

Flujo de Trabajo



24

Test para Medio de cultivo

$$y_{ij} = \mu + \text{Medio}_i + e_{ij}$$

donde,

y_{ij}	: Expresión de un gen
μ	: expresión promedio en medio planctónico
Medio_i	: Efecto (diferencia) de medio biopelícula
e_{ij}	: efecto residual

25

Test para Genotipo de Lrs14-like

$$y_{ij} = \mu + \text{Genotipo}_j + e_{ij}$$

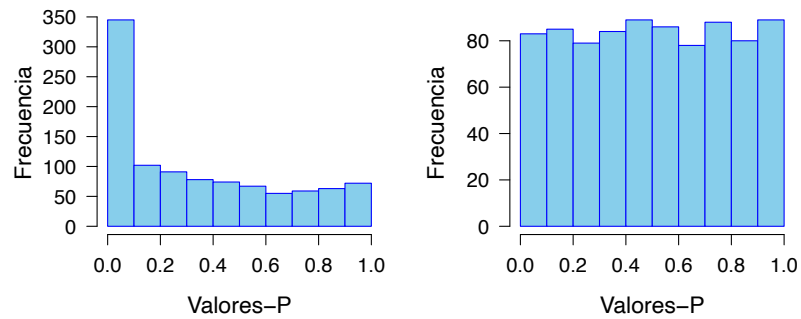
donde,

y_{ij}	: Expresión de un gen
μ	: expresión promedio en genotipo wildtype
Genotipo_j	: Efecto (diferencia) del genotipo mutante (Knock Down) para Lrs14-like
e_{ij}	: efecto residual

26

Resultados

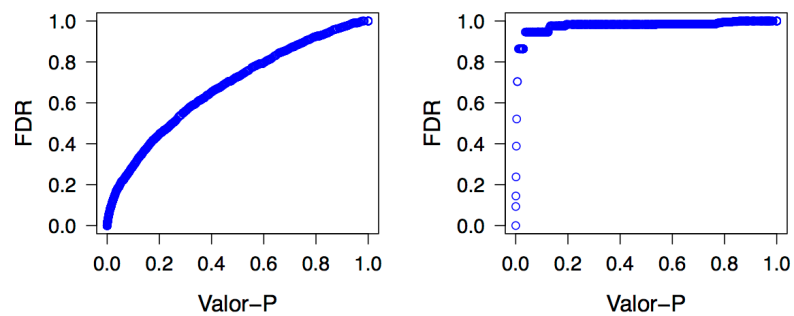
■ Histograma de Valores P



27

Resultados

■ Valor P vs FDR

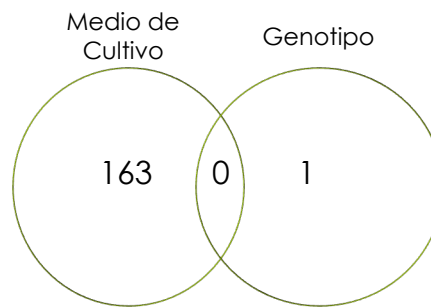


FDR: *False discovery rate* (tasa de falsos positivos). Control del error cuando se realizan muchos tests (uno por gen). Se seleccionan genes con $FDR < 0.1$.

28

Resultados

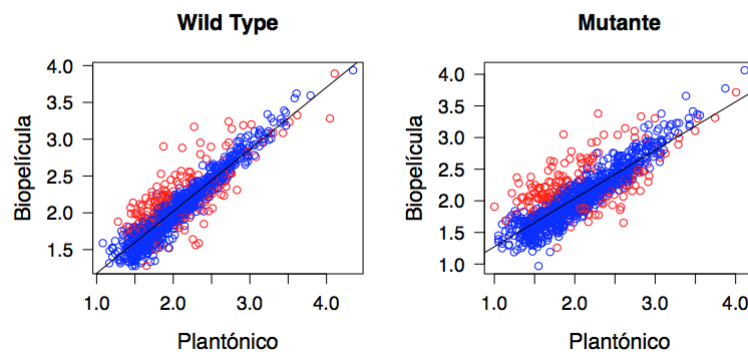
- Número de genes diferencialmente expresados (FDR < 0.1)



29

Resultados

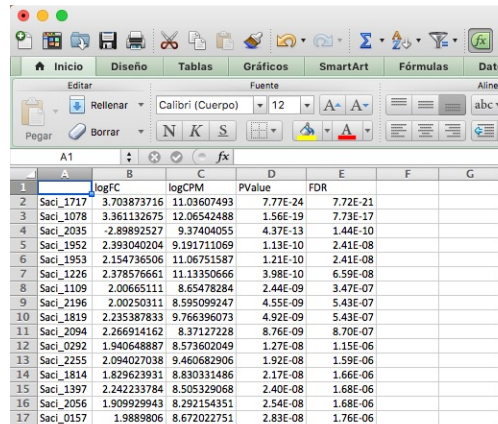
- Scatterplot de Valores de Expresión



30

Resultados

- Tabla de genes diferencialmente expresados.



	A	B	C	D	E	F	G
	logFC	logCPM	PValue	FDR			
2	Saci_1717	3.703873716	11.03607493	7.77E-24	7.72E-21		
3	Saci_1078	3.361132675	12.06542488	1.56E-19	7.73E-17		
4	Saci_2035	-2.89892527	9.37404055	4.37E-13	1.44E-10		
5	Saci_1952	2.393040204	9.191711069	1.13E-10	2.41E-08		
6	Saci_1953	2.154736506	11.06751587	1.21E-10	2.41E-08		
7	Saci_1226	2.378576661	11.13350666	3.98E-10	6.59E-08		
8	Saci_1109	2.00665111	8.65478284	2.44E-09	3.47E-07		
9	Saci_2196	2.00250311	8.595099247	4.55E-09	5.43E-07		
10	Saci_1819	2.235387833	9.766396073	4.92E-09	5.43E-07		
11	Saci_2094	2.266914162	8.37127228	8.76E-09	8.70E-07		
12	Saci_0292	1.940648887	8.573602049	1.27E-08	1.15E-06		
13	Saci_2255	2.094027038	9.460682906	1.92E-08	1.59E-06		
14	Saci_1814	1.829623931	8.830331486	2.17E-08	1.66E-06		
15	Saci_1397	2.242233784	8.505329068	2.40E-08	1.68E-06		
16	Saci_2056	1.909929943	8.292154351	2.54E-08	1.68E-06		
17	Saci_0157	1.9889806	8.672022751	2.83E-08	1.76E-06		

31

Conclusiones

- Se observa expresión diferencial entre 163 genes de *S. acidocaldarius* cuando la archeobacteria crece en diferentes medios de cultivo.
- Se observa solo un gen (Saci_2195) diferencialmente expresado entre los genotipos silvestres y mutantes para el gen Lrs14-like. Este gen está anotado como "Hypothetical protein".
- No hay suficiente evidencia para determinar si la delección de Lrs14-like genera efectos en la regulación génica de otros genes.
- Se sugiere realizar un nuevo experimento con réplicas experimentales.

32