



UNIVERSIDAD
DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Propuesta de mejora del muestreo en campo y de un
modelo para la estimación de grados Brix en el monitoreo
de la producción de las uvas Red Globe**

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Industrial y de Sistemas

**Maria Susana Chang Vegas
Jaime Ignacio Wong Pagano**

**Asesor(es):
Dra. Ing. Ana Valeria Quevedo Candela
Dr. Ing. Erick Alexander Miñán Ubillús**

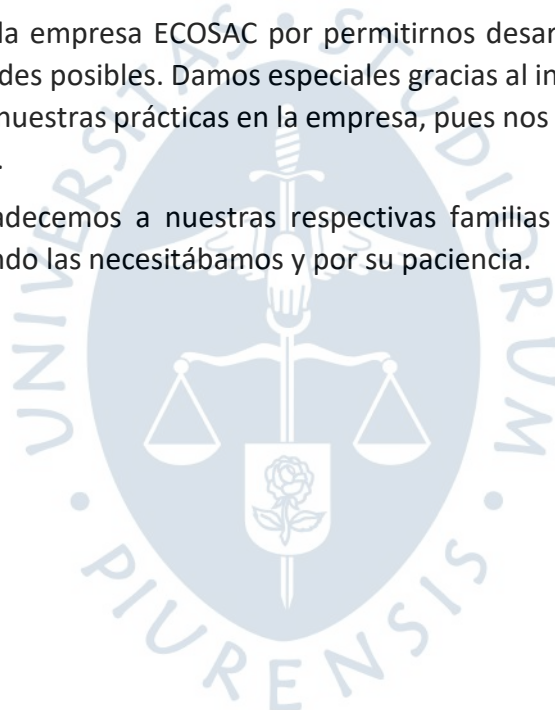
Piura, agosto de 2021

Agradecimientos

Agradecemos a nuestra asesora, Dra. Ing. Valeria Quevedo, por su apoyo e instrucción durante el desarrollo de esta tesis. Gracias a nuestro co-asesor Dr. Erick Miñan por establecer el contacto con la empresa y por permitirnos formar parte de este proyecto.

Agradecemos a la empresa ECOSAC por permitirnos desarrollar esta investigación y darnos todas las facilidades posibles. Damos especiales gracias al ingeniero Jorge Ulloa, quien nos acompañó durante nuestras prácticas en la empresa, pues nos enseñó con mucho ánimo, motivándonos bastante.

Por último, agradecemos a nuestras respectivas familias por su apoyo constante, palabras de aliento cuando las necesitábamos y por su paciencia.



Resumen

La región Piura es una de las principales zonas productoras agrícolas, donde destaca la empresa ECOSAC. Tras un contacto con la empresa, expresaron su deseo de obtener información certera sobre la que se pueda tomar decisiones estratégicas y comerciales. En la presente investigación se desarrollaron dos estudios que, se cree, contribuyen a la mejora continua de los procesos productivos de uva de mesa Red Globe.

El primer estudio es sobre un modelo de predicción estadístico, que tiene como variable respuesta los grados Brix. Se recopiló data de campo y meteorológica, se limpió y luego se utilizó para desarrollar un modelo de regresión lineal de efectos mixtos. El segundo estudio, en cambio, se centra en la mejora del sistema de muestreo en campo. Aquí se probó la metodología que se pretende implementar y se analizaron los resultados. En base a ello, se consolidó el sistema de muestreo final.

Analizando los datos para el modelo se obtuvieron las variables que más impactan en el desarrollo de los grados Brix y también, una ecuación que permite la predicción de estos en base al tiempo. Además, se logró desarrollar un sistema de muestreo que resulta en datos más precisos.

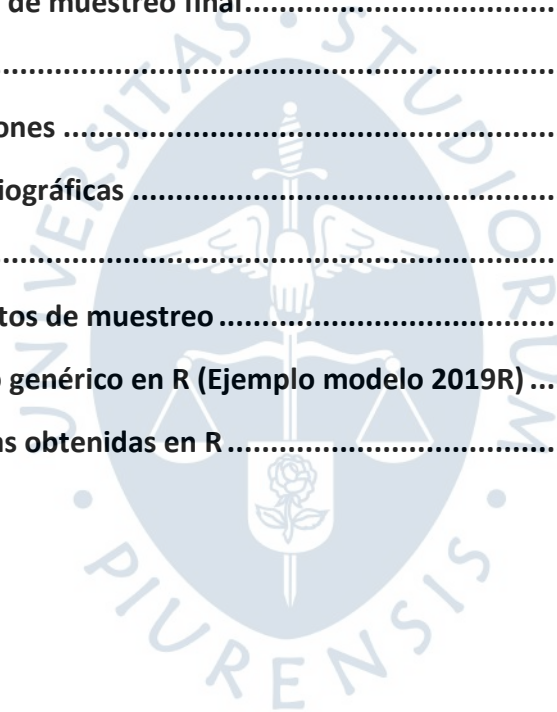
Se concluyó que, las variables utilizadas en el modelo tienen un efecto respecto a la evolución de grados brix en las uvas. Dependiendo del año y del color de las bayas, las variables afectan en un mayor o menor grado. Además, se concluyó que la metodología actual de muestreo tiene mucho espacio para mejora.

Fecha de elaboración del resumen: 12 de julio de 2021

Tabla de contenido

Introducción	13
Capítulo 1	15
Marco teórico	15
1.1 Producción de uva.....	15
1.1.1 Partes de la uva.....	16
1.1.2 Distribución del cultivo.....	17
1.1.3 Variedades.....	19
1.1.4 Ciclo productivo	20
1.2 Parámetros.....	21
1.2.1 Parámetros de calidad.....	21
1.2.2 Parámetros de condición.....	22
Capítulo 2	25
Situación actual	25
2.1. Métodos de muestro de uva	25
2.2. Métodos de muestro de uva en ECOSAC.....	27
2.2.1 Muestreo en poda.....	27
2.2.2 Muestreo en raleo.....	28
2.2.3 Muestreo de calibre	29
2.2.4 Muestreo de Brix.....	31
2.2.5 Muestreo de categoría	32
Capítulo 3	35
Análisis de las variables predictoras	35
3.1. Identificación de variables predictoras	37

Análisis de datos en R	39
3.2. Resultados	44
3.2.1 Interpretación de la ecuación de regresión.....	45
3.2.2 Interpretación de la bondad de ajuste del modelo	47
Capítulo 4.....	49
Propuesta de sistema de muestreo	49
4.1. LHS (Latin Hypercube Sampling)	49
4.2. Prueba inicial de metodología de muestreo.....	51
4.3. Resultados de muestreos realizados.....	53
4.4. Sistema de muestreo final.....	60
Conclusiones.....	63
Recomendaciones	65
Referencias bibliográficas	67
Anexos	69
Anexo A: Formatos de muestreo	71
Anexo B: Código genérico en R (Ejemplo modelo 2019R)	75
Anexo C: Gráficas obtenidas en R.....	77



Lista de tablas

Tabla 1. Tipos de patrón	18
Tabla 2. Variedades de uva de mesa	19
Tabla 3. Calibre variedad verde seedless	29
Tabla 4. Calibre variedad roja seedless	30
Tabla 5. Calibre variedad roja con semilla.....	30
Tabla 6. Calibre variedad negra seedless	30
Tabla 7. °Bx variedad verde seedless	31
Tabla 8. °Bx variedad roja seedless	31
Tabla 9. °Bx variedad roja con semilla.....	31
Tabla 10. °Bx variedad negra seedless	32
Tabla 11. Tolerancias por categoría	33
Tabla 12. Variables predictoras	38
Tabla 13. Resumen variables	39
Tabla 14. Valores FIV 2019R	42
Tabla 15. Resumen resultados	45
Tabla 16. Resultados vs. Resultados transformados.....	47
Tabla 17. Margen entre resultados de los distintos muestreos de calibre en parrón 11	54
Tabla 18. Margen entre resultados muestreo LHS y ECOSAC de calibre en parrón 14.....	56
Tabla 19. Margen entre muestreos de Brix en bayas oscuras en parrón 14	57
Tabla 20. Margen entre muestreos de °Brix en bayas rojas en el parrón 14.....	57
Tabla 21. Margen entre muestreos de Brix en bayas oscuras en parrón 174	59
Tabla 22. Margen entre muestros de °Brix en bayas rojas	60

Lista de figuras

Figura 1. Partes de la uva	17
Figura 2 Ciclo productivo de la uva en ECOSAC	21
Figura 3 Muestreo de madurez	26
Figura 4 Distribución espacial del muestreo en el racimo	27
Figura 5 Evolución Brix vs. Tiempo - Bayas Rojas 2018 para los distintos parrones... 36	
Figura 6 Evolución Brix vs. Tiempo - Bayas Rojas 2019 para los distintos parrones.. 36	
Figura 7 Proceso de análisis.....	40
Figura 8 Gráfico de Brix vs. Tiempo.....	41
Figura 9 Gráfica de probabilidad 2019R.....	43
Figura 10 Gráfica de residuos vs. ajustes 2019R	43
Figura 11 Gráfica de línea 2019R.....	44
Figura 12 Gráficas de línea finales.....	48
Figura 13 LHS	51
Figura 14 Subsectores	52
Figura 15 Ejemplo tabla de muestreo	52
Figura 16 Etiquetas en parrón	53
Figura 17 Plano del parrón 11	53
Figura 18 Plano parrón 14	55
Figura 19 Plano parrón 174	58
Figura 20. Proceso de muestreo propuesto	61

Introducción

El sector agrícola en el Perú ha ido creciendo durante los últimos años. Incluso durante la pandemia del COVID-19, mientras distintos sectores sufrieron un impacto negativo, este presentó un crecimiento de 1.3%. La región Piura es una de las principales zonas productoras agrícolas, donde destaca la empresa ECOSAC. Tras un contacto con la empresa, expresaron su deseo de obtener información certera sobre la que se pueda tomar decisiones estratégicas y comerciales.

En la presente investigación se desarrollaron dos estudios que, se cree, contribuyen a la mejora continua de los procesos productivos de uva de mesa Red Globe. El primer estudio es sobre un modelo de predicción estadístico, que tiene como variable respuesta los grados Brix. Se escogió esta variable pues es un indicador de la madurez de las uvas para la cosecha, que también es un factor importante para los clientes. Al poder predecir estos valores con cierta certeza para fechas asignadas se podrían tomar decisiones con mayor anticipación y confiabilidad y responder de manera más eficiente ante oportunidades que se presenten en el mercado.

El segundo estudio, en cambio, se centra en la mejora del sistema de muestreo en campo. El muestreo es una actividad realizada para obtener información sobre indicadores de calidad de las uvas y para conocer su evolución en el tiempo. El sistema propuesto pretende minimizar la variabilidad de los datos recolectados y aumentar la eficiencia.

Capítulo 1

Marco teórico

En el presente capítulo se describirá el proceso productivo de la uva de mesa. Asimismo, se definen conceptos relacionados a la fisiología y fisionomía de las mismas, aspectos técnicos de los campos de cultivo y parámetros relevantes para el área de Gestión de la Calidad de la empresa.

1.1 Producción de uva

En la última década, la industria agroexportadora en la región Piura ha tenido un desarrollado constante. Debido a ello, esta región se ha convertido en la principal productora de uvas de mesa en el país (Gestión, 2017). Según la Dirección Regional de Agricultura (DRA), Piura cuenta con más de 8,412 mil hectáreas destinadas al cultivo de vid, siendo la principal variedad Red Globe, que representa el 60% de la producción total (SENASA, 2019). Le siguen las variedades Crimson Seedless y Sugraone, las cuales han ido incrementando debido a la demanda del mercado internacional. En el 2019, las principales zonas productoras de uva se localizaron en las provincias de Piura (64,5%), Sullana (21,7%) y Morropón (13,8%) (El Tiempo, 2019).

A inicios del 2019, la uva de mesa llegaba a 52 mercados y los principales destinos de la fruta eran Estados Unidos con 35, 446 toneladas; Holanda con 26, 274 toneladas y China con 13,303 toneladas (El Tiempo, 2019). Entre enero y abril de ese año, la uva fresca fue el producto de agroexportación con mayores envíos al extranjero, con un valor total de US\$ 357 millones, 14% más en comparación al mismo periodo del año anterior según cifras de la Asociación de Gremios Productores Agrarios (Fong Renteria, 2019). El Ministerio de Agricultura y Riego declaró que en la campaña 2018/2019 la región logró exportar 142, 805 toneladas métricas (SENASA, 2019).

Una de las empresas más importantes que producen y exportan uva de mesa en la región es ECOSAC. Esta empresa cuenta con una superficie sembrada, de uvas de mesa, mayor a 1000 hectáreas. Además, dispone de 26 variedades de uva y las exporta a más de 40 mercados; el principal es Latinoamérica, seguido de Norteamérica, Europa, Corea y China. Los

representantes de esta empresa estiman que en la presente campaña (2019) se exportarán 1450 contenedores de uva de mesa, de los cuales 500 serán de Red Globe.

1.1.1 Partes de la uva

Se le llama parra a la planta de uva, especialmente a aquella que produce uvas de mesa. Posee las siguientes partes (Utiel-Requena, 2018):

- **Raíz**

Parte subterránea de las plantas que se encarga de absorber nutrientes y minerales del suelo para que esta pueda subsistir. Es parte del patrón sobre el cual se hará crecer determinada variedad de uva, mediante el injerto de un vástago.

- **Tronco**

Apoyo principal que sujeta el arbusto. Altura depende de poda. En esta parte la vid almacena sustancias de reserva. También sirve como conducto de la savia y el agua.

- **Pitones**

Parte de la estructura de una parra, encargada de generar los cargadores productivos de reemplazo.

- **Cargadores**

Son ramas productoras; es decir, aquellas en las que crecen racimos para la cosecha.

- **Yemas**

Estructura de crecimiento que contiene los primordios que se desarrollan en la axila de la hoja, que es el área justo por encima del punto de conexión entre peciolo y el brote.

- **Brotes**

Nuevos crecimientos de las plantas, pueden incluir tallos, yemas y hojas.

- **Hojas**

Responsables de realizar la fotosíntesis. Transforman la energía de la luz solar en azúcares y dióxido de carbono y finalmente en glucosa y oxígeno. Tienen dos partes, el limbo y el peciolo.

- **Tallos**

Estructura que sostiene a las hojas, flores y frutos. Además se encarga de transportar nutrientes entre las raíces y hojas.

- **Zarcillos**

Estructuras parecidas a los tallos que cumplen la función trepadora.

- **Flores**

Son órganos reproductores que se agrupan en racimos llamados inflorescencias. Cada flor que se poliniza se convierte en una baya, y la inflorescencia en un racimo de uvas.

- **Frutos**

Brota de los racimos. Tienen forma esférica de baya y pueden contar con semillas.

- **Sarmiento**

Nuevas ramas que se producen cada año. Aquí se forman los nuevos brotes.

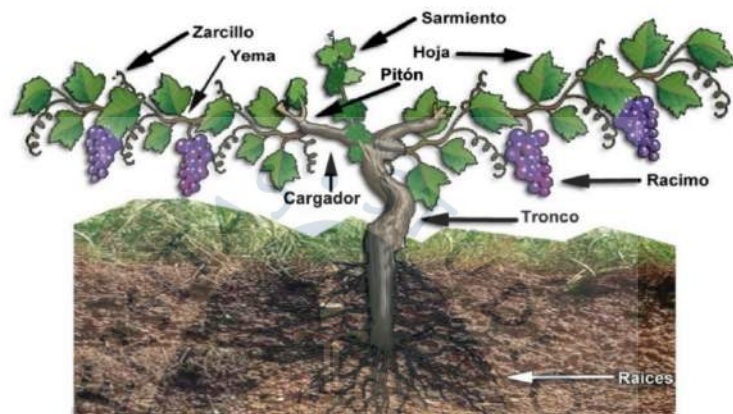


Figura 1. Partes de la uva

Fuente: Vinos diferentes (s.f)

1.1.2 Distribución del cultivo

El conjunto de parras se denomina parrón. En ECOSAC, las parras de cada parrón comparten ciertas características. Estas son:

- **Nº de parrón:** actualmente ECOSAC cuenta con 302 parrones.
- **Variedad de uva:** puede variar en un parrón, pero normalmente es solo una.
- **Área:** los parrones poseen distinta extensión. La mayoría de estos tienen un área de 3-4 ha, no obstante, el parrón más grande tiene 10.27 ha, y el más pequeño, 0.33 ha.
- **Tipo de patrón:** el patrón es una parte de una planta, generalmente ubicado debajo de la tierra y que posee un sistema de raíces desarrollado, del que un crecimiento sobre tierra puede ser producido. Esto se logra realizando un injerto de vástagos de las variedades de plantas que se quiera cosechar.

Los patrones utilizados en ECOSAC son:

- Salt Creek
- Freedom
- SO4
- Harmony

Tabla 1. Tipos de patrón

Patrón	Variedad	Arraigo y afinidad al injerto	Vigor	Suelos	Resistencia	Plagas
Salt Creek	Vitis Champini	Muy dificultosa. Presenta menor tasa de rendimiento en el injerto respecto a otros patrones (relativa débil afinidad con variedades vitis vinifera).	De muy vigoroso a extremadamente vigoroso. Calidad depende mucho de manejo de canopia y fertilización, en especial, potásica.	Se recomienda en aquellos con acumulación natural de sales, de carecer de ella, suministrar aguas salinas por irrigación. Buen comportamiento en suelos alcalinos y relativamente alcalinos.	Relativamente resistente a la sequía	Tolerante a la filoxera, altamente resistente a nematodos (en especial Meloydogin e)
Harmony	Hibrido: V. Riparia V. Labrusca V. Champini V. Solanis V. Vinífera	Muy buenas con las V.vinifera. Posee excelentes propiedades enraizantes.	De medio a alto.	De preferencia arenosos. En suelos fértiles resulta muy vigoroso. Mejor en suelos sin problemas de sales.	Sensible a la falta de agua.	Tolerante a filoxera, pero se debe tener cuidado con el manejo de esta plaga. Presenta resistencia a nematodos.
SO4	Hibrido: cruce entre V. Berinadieri y V. Riparia	No recomendado con la variedad Red Globe.	Alto en el transcurso de la primera parte de la vida del viñedo.	Buen comportamiento en terrenos con subsuelo húmedo y fresco; además de ir bien en suelos arcillosos y en algunos lugares, en ácidos. Muy poco adaptado a terrenos muy secos, cloróticos y muy compactos.	Resistencia nula ante salinidad	Resistencia elevada a filoxera y presenta una buena resistencia ante nematodos

(Continuación)

Freedom	Hibrido: V. Riparia V. Labrusca V. Champini V. Solanis V. Vinífera	Muy buena con la V. Vinífera, son muy compatibles.	De medio a alto cuando se coloca en suelos fértiles. Más vigorosos que Harmony, pero menos que Salt Creek. Tiende a asimilar en alta tasa de nutrición nitrogenada.	Ideal para suelos arenosos y también preferido para suelos francos pobre, con alto contenido de arena. A su vez, es preferido para suelos muy pesados o fuertes, regulando la densidad y orientando la canopia.	Tolerante a la sequía.	Resistente a nematodos (Meloydogine), pero poco tolerante a filoxera.
---------	---	--	---	---	------------------------	---

Fuente: Agronegocios Genesis

- **Fecha de siembra:** se refiere al día, mes y año de plantación (vástago ya injertado en patrón).

1.1.3 Variedades

Actualmente, ECOSAC produce 26 variedades de uva. Sin embargo, se está considerando reducir la cantidad a 13 debido a que estas representan el 80.94% de la demanda. Estas variedades de acuerdo a la Asociación de productores y exportadores de uva de mesa del Perú (PROVID, s.f.) deben tener las siguientes características:

Tabla 2. Variedades de uva de mesa

Variedad	Color	Forma	Calibre	Semillas	°Bx	Observaciones
Red Globe	Rojo oscuro, ligeramente brillante	Redonda	24-28 mm	Sí	15-18°	Cáscara firme, pulpa crujiente y carnosa
Sweet Celebration	Rojo brillante	Redonda u ovalada	25 mm	No	18°	Muy crujiente
Jack's salute	Rojo	Redonda	20 mm	No	18°mín.	
Scarlotta	Rojo	Redonda alargada	23-30 mm	No	17°mín.	

Variedad	Color	Forma	Calibre	Semillas	°Bx	Observaciones
Allison	Rojo	Redonda	22 mm	No	20°	Crujiente
Autumn Crisp	Verde claro	Ovalada	19-22 mm	No	17-20°	Muy crujiente
Ivory	Blanca	Ovoide	22-24 mm	No	16° mín.	
Sweet Globe	Verde claro	Ovoide	22-24 mm	No	17° mín.	
Sweet Joy	Negro	Elipsoide		No		Suave
Sweet Favors	Negro	Ovalada elongada		No	17° mín.	Firme
Sweet Enchantment	Negro	Ovalada	18-20 mm	No		Buena textura
Sable	Negro intenso	Redonda	17-20 mm	No	19-20°	Jugosa y crujiente
Candy Dreams	Negro	Redonda	17-20 mm	No	18-20°	Crujiente

Fuente: Provid (s.f.)

1.1.4 Ciclo productivo

Primero se realiza la poda, en la cual se remueven los cargadores existentes y las hojas para limitar el crecimiento natural de la planta y promover el crecimiento de los nuevos brotes. Durante esta etapa se aplica cianamida¹ para acelerar el proceso. A los 10-12 días empiezan a aparecer los nuevos brotes. Y pasados 15 días se aparecen los primeros racimos visibles. Luego de unos días se realiza el desbrote y deshoja para eliminar las partes no productivas y para que la planta distribuya mejor los nutrientes. A los 45 día la planta está en plena flor y salen los primeros racimos, aquí se realiza el ajuste de carga que es podar los racimos innecesarios. Después de 2 meses, se realiza el raleo de grano, en donde se ajusta la

¹ Cianamida: Fitorregulador que se aplica para adelantar la floración y brotación (Agrospec)

cantidad de bayas que hay por racimo. A los 3.5 meses las bayas empiezan a tomar color y se inicia con los muestreos de Brix y acidez. Finalmente, luego de 4.5 meses se inicia la cosecha.

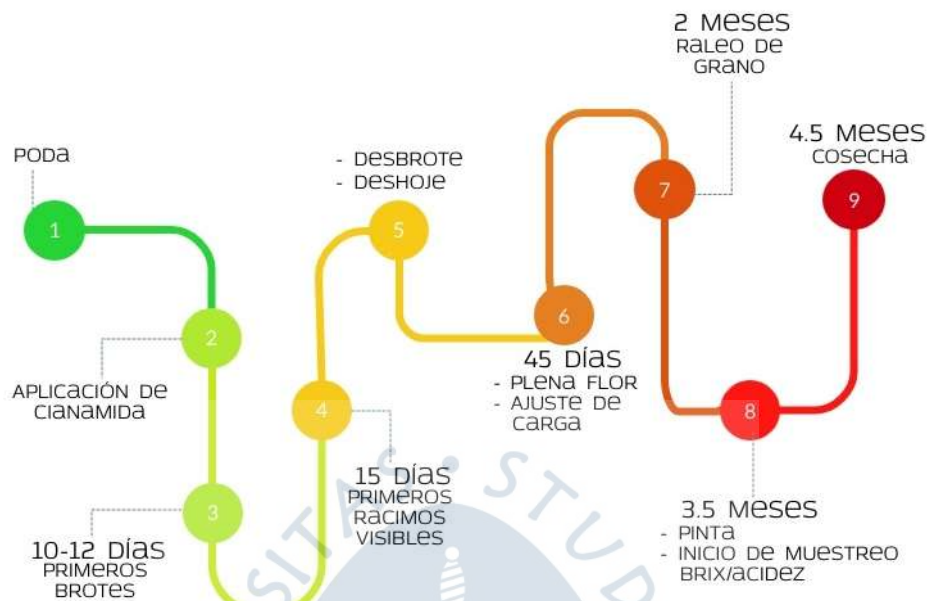


Figura 2 Ciclo productivo de la uva en ECOSAC

1.2 Parámetros

La empresa en donde se ha desarrollado el presente trabajo de tesis cuenta con unos Requisitos Generales de Calidad. La uva que no cumpla con dichos requisitos será fruta objetada, perdiendo la condición de fruta exportable (ECOSAC, 2019).

1.2.1 Parámetros de calidad

Representan a aquellos atributos o defectos adquiridos por la fruta en campo y que no pueden ser modificados y/o mejorados en procesos posteriores (ECOSAC, 2019).

Se dividen en dos categorías:

1.2.1.1 Defectos mayores. Afectan directamente la calidad de la uva.

- **Inmadurez:** racimos cosechados sin haber alcanzado el mínimo de grados Brix para la variedad y que no alcanza una relación sólidos solubles/acidez igual o mayor a 20:1.
- **Residuos de productos químicos:** no debe haber rastros de pesticidas u otro químico en las uvas.
- **Racimos apretados:** racimos con excesivas bayas. Se pueden encontrar deformidades, pudriciones y falta de color.
- **Color:** depende de la variedad

- **Rojas:** color típico y natural de la fruta a su madurez comercial. En el caso de la variedad Red Globe, se rige por las tonalidades de la carta de colores: RG1-2-3 y 4.
- **Negras:** mínimo 90% de cubrimiento con color característico, no se aceptan halos verdes o claros. Ciertos mercados exigen bayas completamente cubiertas del color típico. Estos mercados asumen que cuando una baya no está completamente cubierta, es una fruta “inmadura”, verde o no adecuada.
- **Verdes:** debe estar especificada la diferencia entre verde, ámbar y amarilla.

1.2.1.2 Defectos menores. Afecta visualmente a la fruta pero la calidad no se ve comprometida.

- **Quemaduras de sol:** las bayas afectadas adquieren una coloración dorada. Un racimo fuera de norma es aquel en el que más del 5% del total de bayas están quemadas.
- **Bajo calibre:** se considera defecto cuando el diámetro ecuatorial de las bayas muestreadas es menor a la de los límites especificados por variedad de uva.
- **Deformidades:** se considera que el racimo es defectuoso cuando la mayoría de sus bayas presenta una forma diferente a la característica de su variedad
- **Russet:** son alteraciones rugosas de la piel, producto de roces, remanentes de pesticidas, daños de insectos, etc. Se considera defecto cuando afecta un área mayor a 0.3 cm² por baya.
- **Bajo peso:** se considera como defecto cuando el peso del racimo no alcanza al especificado en función a la variedad.

1.2.2 Parámetros de condición

Son aquellos defectos que evolucionan en el periodo post-cosecha hasta el destino final (ECOSAC, 2019).

- **Sobremadurez:** aquellos racimos que presentan cualquiera de las siguientes características:
 - Desgrane mayor o igual a 5%.
 - Relación azúcar/acidez muy alta para la variedad
 - Uva proveniente del periodo final de una cosecha muy extendida en el tiempo o atrasada.
- **Deshidratación:** pérdida de agua en las bayas. Las bayas se tornan blandas y arrugadas y dependiendo de la variedad puede incidir en el aumento de desgrane.
- **Partiduras:** se originan por factores climáticos en el parrón. Fuente de problemas fungosos y blanqueamiento.

- **Pudrición:**
 - La *botrytis cinérea pers* se manifiesta como piel suelta, derivándose en un ablandamiento que se puede tornar gris. Sobre los 14 grados Brix, este hongo puede atacar a cualquier herida abierta.
 - Existe también una pudrición ácida, donde el fruto es atacado por hongos y bacterias. En este caso, los tejidos se desintegran, hay larvas y el fruto huele a vinagre.
- **Desgrane:** desprendimiento de bayas del racimo.
- **Traslúcidos:** racimos que tienen un color brillante, esto se ocasiona por un nivel bajo de grados Brix.



Capítulo 2

Situación actual

En este capítulo se hablará sobre las metodologías utilizadas para los muestreos de uva y de los que la empresa en particular utiliza. También se describen las fuentes de variabilidad que influyen en el muestreo.

2.1. Métodos de muestro de uva

El momento en el que se realizará la cosecha es probablemente la decisión más importante y desafiante para los agricultores debido a la dificultad para predecir la calidad que tendrá la uva. Si es que se hace antes de tiempo, las uvas no habrán alcanzado los parámetros de calidad deseados como el color o el contenido de azúcar. No obstante, si se dejan más tiempo del necesario, hay mayor probabilidad de que sean atacadas por las plagas y que se empiecen a pudrir.

Además del clima y la estación del año, existen distintos factores que afectan a la predicción del momento de cosecha como, la probabilidad de daño por plagas o enfermedades, la disponibilidad de mano de obra, la variedad, la carga del cultivo, la exposición al sol y la edad del parrón (Dami, 2013).

Estas fuentes de variabilidad afectan a cada uno de los distintos niveles del cultivo: desde el parrón hasta la baya (Hillin, 2019).

- El tipo de suelo del parrón pueden afectar a la tasa de infiltración del agua en el suelo causando diferencias en el tamaño del follaje. La orientación de las filas puede afectar a la cantidad de sol que reciben los racimos de uva.
- Una carga no uniforme en la parra puede afectar la madurez al momento de la cosecha. Las replantaciones también contribuyen a la variabilidad entre parras individuales.
- Diferencias entre la cantidad de racimos en la parra y la densidad del follaje, pueden causar variabilidad en la madurez de la uva. Asimismo, los daños físicos en ciertas partes del racimo causados por el clima pueden afectar la calidad final del racimo.

Exposición desigual de sol en el racimo, daños por pájaros, enfermedades o plagas causan variabilidad en la capacidad de la parra para madurar cada baya de cada racimo.

Según *Ohio State University* (2013), los estándares industriales que se utilizan actualmente para estimar la madurez de la uva son el contenido de azúcar, la cantidad de ácidos y el pH. El sabor y el aroma son parámetros costosos y difíciles de cuantificar por lo que comúnmente no son medidos. El presente trabajo se centrará en el contenido de azúcar de la uva como parámetro para estimar la madurez.

El contenido de azúcar, comúnmente conocido como grados Brix, es el porcentaje más grande de sólidos solubles. La glucosa y fructuosa son los principales azúcares presentes en las uvas de mesa. Cuando madura, la cantidad de glucosa y fructuosa es comúnmente igual. Esta es medida con un refractómetro, el jugo se pone en el vidrio del refractómetro y la luz viaja a través del jugo para registrarlos en una escala. Mientras más denso sea el jugo, más dulce es (Dami, 2013).

Para tener una mejor noción del proceso de maduración de las uvas, se recomienda que los muestreos se realicen entre el envero y la cosecha. Al inicio, el muestreo se debe realizar cada 7 o 10 días durante las 5 o 3 semanas previas a la cosecha. Cuando falten 10 días para la cosecha, se debe muestrear cada 2 o 3 días. (Hillin, 2019).

Cuando se realice el muestreo, se sugiere ir en zigzag y al azar dentro del parrón, como se puede apreciar en la Figura 3. Además, es importante sectorizar el campo en sectores homogéneos (Centro Tecnológico de la Vid y el Vino, 2010). No se deben muestrear las parras que se encuentran en el perímetro del parrón. Tratar de no favorecer las bayas que tienen más color y muestrear de ambos lados de la línea de conducción. (Dami, 2013)

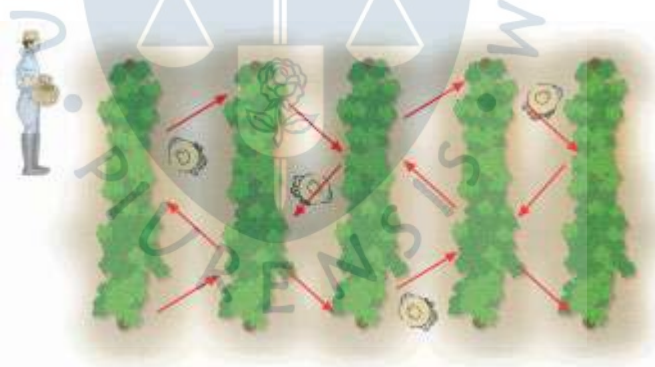


Figura 3 Muestreo de madurez

Fuente: Centro Tecnológico de la Vid y el Vino (2010)

En el muestreo de bayas, para obtener un resultado con 1° Brix de error, se deben recolectar por lo menos 2 muestras de 100 bayas. Si se desea aumentar la precisión a 0.5° Brix de error, se necesitan recolectar 5 muestras de 100 bayas. Sin embargo, si se desea muestrear en racimos, se necesitan recolectar 100 racimos para tener un error de 1° Brix. (Dami, 2013)

Se debe tratar de obtener bayas representativas dentro del racimo. El Centro Tecnológico de la Vid y el Vino (2010) recomienda tomar 5 bayas por racimo: 2 bayas desde

los hombros del racimo, 2 bayas desde el sector medio del racimo y 1 baya de la parte inferior del racimo como se ve en la Figura 4.

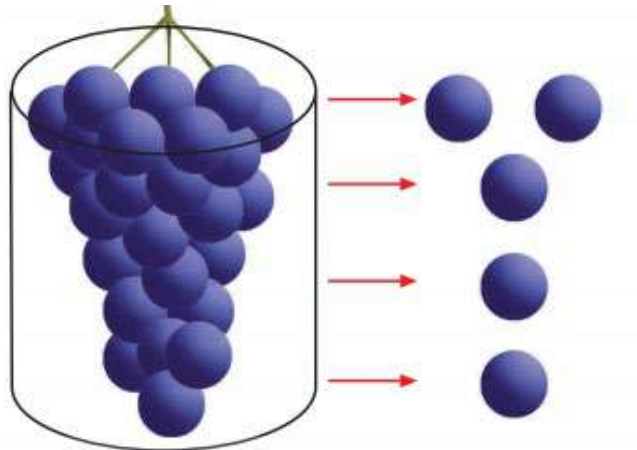


Figura 4 Distribución espacial del muestreo en el racimo

Fuente: Centro Tecnológico de la Vid y el Vino (2010)

La *University of Texas A&M* (2019) también recomienda tomar 5 bayas por racimo, no obstante, propone que las bayas tomadas sean 1 de la parte superior del racimo, 1 de la parte del medio, 1 de la parte central, 1 de la parte exterior y 1 de la parte de atrás. Asimismo, sugiere que se tome 1 racimo por parra muestreada.

Se debe tratar de tener un proceso estandarizado para así obtener resultados representativos. Se recomienda que las muestras sean recolectadas en la mañana y si es posible a la misma hora. Cuando se muestrea en la mañana, el jugo muestreado puede ser 1°Brix más bajo que el que muestreado en la tarde (Dami, 2013). La *University of Texas A&M* (2019) recomienda que esta práctica se realice antes de las 10:00 A.M.

2.2. Métodos de muestro de uva en ECOSAC

Actualmente, la empresa determina el momento de cosecha en base a los muestreos realizados por el Área de Aseguramiento de la Calidad y por el Área de Campo. Estos muestreos se realizan en distintos momentos del ciclo productivo.

2.2.1 Muestreo en poda

La poda es una práctica que permite eliminar material enfermo e improductivo de la parra, posibilitando una producción sustentable.

Esta etapa es importante porque equilibra la parte productiva y vegetativa de la planta, obteniendo así fruta de mejor calidad bajo un óptimo productivo. También, permite estimular el renuevo de estructuras, prolongando la vida útil de la planta.

Las partes de la vid que son intervenidas son los pitones, las yemas, los brotes sarmientos.

El área de calidad realiza un recuento de distintas variables para analizar la diferencia que hay entre lo real y lo que indica el instructivo de campo.

Las variables a evaluar son:

- Pitones: se selecciona una planta para el recuento de salidas (pitones).
- Cargadores: se cuenta el número de cargadores y se clasifican en vigorosos y débiles.
- Yemas: se cuenta el número de yemas por cargador.

En la fase de Poda, se realizan 25 muestras (plantas) por parrón. El muestreo se realiza en X o zigzag, dependiendo de la visualización y el relieve del terreno. No se muestrea las dos primeras líneas del perímetro.

En caso de que no se cumpla con los instructivos de campo, los encargados le informan al fiscal.

El formato que se utiliza para el muestreo se puede ver en el Anexo A1.

2.2.2 Muestreo en raleo

Consiste en la eliminación de los frutos (racimos y bayas) y hojas en exceso por vía manual, mecánica o química, como una forma de regular la carga de árboles frutales.

Raleo manual

Un operario efectúa el desprendimiento de las bayas, eliminando primero las bayas defectuosas, dañadas o pequeñas.

Los criterios de raleo dependen de la variedad ya que, de acuerdo al tamaño que alcanzan las bayas, se debe dejar más o menos espacio. Se le muestra al personal las tres formas de racimos (alado, semi-alado y atubado) y cuantas bayas debe tener cada tipo.

El raleo de racimos se denomina ajuste de carga. Este consiste en el el desprendimiento de racimos completos y se trabaja por ventanas de cada planta. Al hacer el raleo, se tienen especificaciones sobre el número de racimos que debe haber por parra.

Estos criterios son dados por el jefe de campo oralmente antes de entrar al parrón.

También se debe tener cuidado con las bayas de diámetro pequeño porque, en algunas variedades, son muy sensibles al tacto y se pueden quemar.

La cantidad de grupos de trabajo varía dependiendo de la temporada. Normalmente estos grupos están conformados por 1 fiscal y 25 trabajadores. La capacitación que estos reciben es la misma. No obstante, los operarios nuevos tienden a cortar solo un lado por lo que el racimo queda casqueado y esto hace que no se alcance la categoría 1.

Muestreo

Al igual que en la fase de poda, el muestreo se realiza por parrones. Dentro de los parrones se escogen 25 plantas aleatoriamente, a veces siguiendo también un patrón diagonal o de zigzag. En un muestreo normal, se escoge un racimo por planta para muestrear; en cambio, cuando es más exigente (tal vez por discrepancias en medidas previas) se muestrea todos los racimos de la planta seleccionada.

El área de calidad evalúa:

- N° de racimos teóricos.
- N° de racimos reales.
- La diferencia entre racimos teóricos y reales.
- La cantidad de racimos de cierto tipo de forma y la cantidad de bayas que posee cada uno.

El formato utilizado para muestrear esta fase está descrito en el anexo A2.

2.2.3 Muestreo de calibre

Se realiza en 25 plantas. Se toman muestras de 4 racimos en promedio. Tanto las plantas como los racimos de estas se escogen aleatoriamente. Normalmente, se mide el calibre de las bayas exteriores.

Para hacer la medición se utiliza el calibrador. Se mide el diámetro ecuatorial de las bayas.

El calibre se clasifica en Super Jumbo (JJ), Jumbo (J), Extra-Large (XL), Large (L), Medium (M). Los calibres para cada variedad de uva son:

Tabla 3. Calibre variedad verde seedless

Rotulado	Sweet globe/ autumn crisp	Ivory
JJ	≥ 22	≥ 21
J	20.0 - 21.9	19.0 - 20.9
XI	18.0 - 19.9	17.0 - 18.9
L	17.0 - 17.9	16.0 - 16.9
M	16.0 - 16.9	15.0 - 15.9

Fuente: ECOSAC (2019)

Tabla 4. Calibre variedad roja seedless

Rotulado	Jack's Salute / Allison	Scarlotta/ Sweet Celebration
JJ	> 21	> 22
J	19.0 - 20.9	20.0 - 21.9
XL	17.0 - 18.9	18.0 - 19.9
L	16.0 - 16.9	16.0 - 17.9
M	15.0 - 15.9	

Fuente: ECOSAC (2019)

Tabla 5. Calibre variedad roja con semilla

Rotulado	Red Globe
JJ	≥ 29.0
J	27.0 - 28.9
XL	25.0 - 26.9
L	23.0 - 24.9
M	21.0 - 22.9

Fuente: ECOSAC (2019)

Tabla 6. Calibre variedad negra seedless

Rotulado	Sable Seedless/ Candy Dreams (IFG 93 - 136)/ Sweet Favor	Sweet Enchantment
JJ	≥ 21	≥ 22
J	19.0 - 20.9	20.0 - 21.9
XL	17.0 - 18.9	18.0 - 19.9
L	16.0 - 16.9	17.0 - 17.9
M	15.0 - 15.9	16.0 - 16.9

Fuente: ECOSAC (2019)

El formato utilizado para muestrear el calibre se puede observar en el anexo A3.

2.2.4 Muestreo de Brix

Se realiza en 25 plantas. Se toman muestras de la mayor cantidad de racimos posibles por plantas. Las plantas se escogen aleatoriamente y los racimos son seleccionados de acuerdo al color. De estos racimos se miden usualmente las bayas que se encuentran en la parte superior, intermedia e inferior. Esta medición se realiza paulatinamente.

Los valores ideales de °Bx de cada tipo de uva son:

Tabla 7. °Bx variedad verde seedless

Variedad	Brix	Brix mínimo con ratio 20:1
Sweet Globe / Ivory / Autumn Crisp	16.5	15.5

Fuente: ECOSAC (2019)

Tabla 8. °Bx variedad roja seedless

Variedad	Brix	Brix mínimo con ratio 20:1
Jack's Salute / Allison	17.0	15.5
Scarlotta	18.0	16.5
Sweet Celebration	17.0	16.0

Fuente: ECOSAC (2019)

Tabla 9. °Bx variedad roja con semilla

Variedad	Brix	Brix mínimo con relación 20:1
Red Globe	15.5	15.0

Fuente: ECOSAC (2019)

Tabla 10. °Bx variedad negra seedless

Variedad	Brix	Brix mínimo con ratio 20:1
Sweet Enchantment / Candy Dreams (IFG 93 - 136)/ Sweet Favor	18.0	17.0
Sable Seedless	19.0	18.0

Fuente: ECOSAC (2019)

El formato utilizado para el muestreo de Brix se puede observar en el anexo A4.

2.2.5 Muestreo de categoría

Dependiendo del área del parrón, se escoge cierta cantidad de cuadrantes y de estos se toma cierta cantidad de racimos (apuntando a muestrear 100 por parrón). Se corta los racimos y se ve el color, el tipo y la cantidad de defectos y el calibre de las bayas. Se hace por peso.

Actualmente ECOSAC, cuenta con el siguiente sistema de categorización:

- **Fruta superior o 'S'**

20-30% del parrón. Se caracteriza por presentar racimos de calibre y color parejo, sin defectos. Dirigido a clientes o programas exigentes.

- **Fruta normal o 'N'**

Denominada comúnmente como Cat 1 y constituye el 40-60% del volumen total del parrón. Presenta defectos que no son de condición y los defectos menores, pueden ser manchas y russets, faltas de color, ralos con raquis expuesto y todos los cubiertos por las tolerancias anticipadas por cada cliente en las especificaciones.

- **Fruta 'NN'**

Aquellos racimos que superan las tolerancias en cualquiera de los defectos menores (paludos, manchados, con falta de color, quemado de sol). No puede incluir defectos de condición como pudriciones, translúcidos, heridas abiertas, deshidratación extrema, desgrane alto. Equivale a la Cat2.

- **Fruta 'E'**

Restos o trozos de racimos, pámpanos y estrellas. Número limitado de contenedores a mercados específicos. 2-5% del volumen total de lo ingresado de la variedad. Es destinada para usos especiales.

Las tolerancias de cada categoría son las siguientes:

Tabla 11. Tolerancias por categoría

Daños y Defectos	Unidad de Medición	Tolerancia Por Norma			Tolerancia ECOSAC 2019		
		Cat S	Cat N	Cat NN	Producto Terminado Cat S	Producto Terminado Cat N	Producto Terminado Cat NN
		Leve	Leve	Moderada	Leve	Leve	Moderada
Golpe de Sol	Racimos por caja	1	1	2	1	1	2
Bajo Calibre	Bayas por racimo	5	5	8	8	8	10
Manchas - Russet- Trips	Bayas por racimo	4 - 5	4 - 5	6 - 8	2 - 4	4 - 6	6 - 8
Semi-paludo	Racimos por caja	1	1	2	1	2	4
Bayas blandas / deshidratadas	Racimos por caja	0	0	2	1	1	2
Racimo Apretado	Racimos por caja	0	0	0	1	2	3
Heridas Abiertas	Bayas por caja	0	0	0	0	0	0
Pudricion/Botrytis	Bayas por caja	0	0	0	0	0	0
Desgrane	% por peso de caja	2	2	4	4 - 5	4 - 5	4 - 5
Racimo bajo peso	Racimos por caja	250	250	220	220	220	150
Baya Acuosa	% por peso de caja	0	0	0	1 - 2	4 - 5	4 - 5
Raquis deshidratado	Racimos por caja	0	0	0	0	1	2
Halo Cremoso	Racimos por caja	1	1	2	0	2	4
Defecto Total Máximo Acumulado		10%	10%	20%	10%	10%	20%

Fuente: ECOSAC (2019)

El formato utilizado para el muestreo de categoría se puede apreciar en el anexo A3.

Capítulo 3

Análisis de las variables predictoras

El objetivo de la empresa, desde un inicio, ha sido obtener un indicador numérico sobre el que se pueda tomar decisiones respecto a los tiempos de cosecha. La empresa considera los grados Brix como indicador de calidad y como indicador para manejar tiempos de muestreo y cosecha. Para poder cumplir con dicho objetivo fue necesario obtener la data de las variables que pudieran tener un impacto en el desarrollo de las uvas Red Globe. Esto sirvió para poder estimar una ecuación o un modelo matemático que ayude a predecir los grados Brix de parrones completos en función del tiempo.

Para ello, primero se recorrió y observó a detalle la cadena productiva. Se empezó por las actividades de campo que incluyen: raleo de bayas, raleo de racimos (ajuste de carga), deshoje, aplicación de cianamida, riego, cosecha y muestreos respectivos en algunas de las etapas mencionadas. Luego se observó el *packing*, que incluye un filtro de selección según los lineamientos de calidad para las uvas; y finalmente, el traslado de pallets a las cámaras frigoríficas que los albergarán hasta ser transferidos a contenedores.

Una vez conocida la cadena productiva a profundidad se encontró y documentó evidencia de problemas en la gestión del capital humano y su desempeño ejecutando sus labores. Adicionalmente, se entendió que los parrones tienen una variabilidad inherente a ellos, lo que hace que sus comportamientos sean muy distintos temporada a temporada.

En las siguientes gráficas Brix vs. Tiempo se observa la evolución de los grados Brix promedio de las uvas clasificadas como rojas correspondientes a ciertos parrones durante intervalos en días, en los años 2018 y 2019 (llamados 2018R y 2019R, respectivamente), para los distintos parrones. Cada línea corresponde a un parrón determinado.

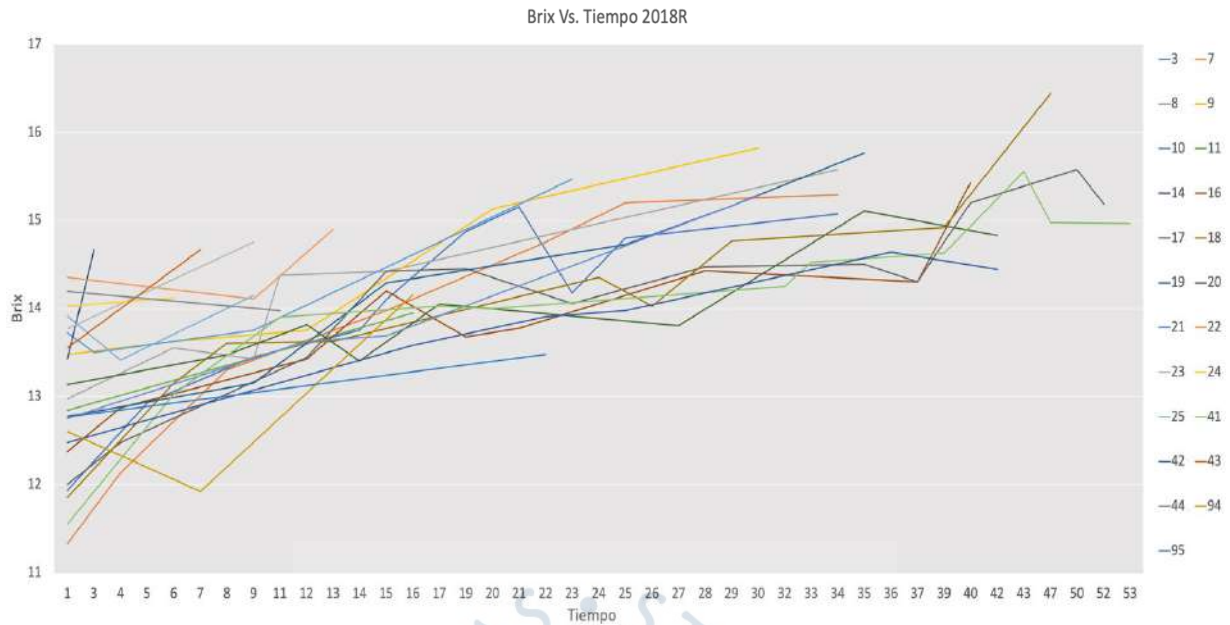


Figura 5 Evolución Brix vs. Tiempo - Bayas Rojas 2018 para los distintos parrones

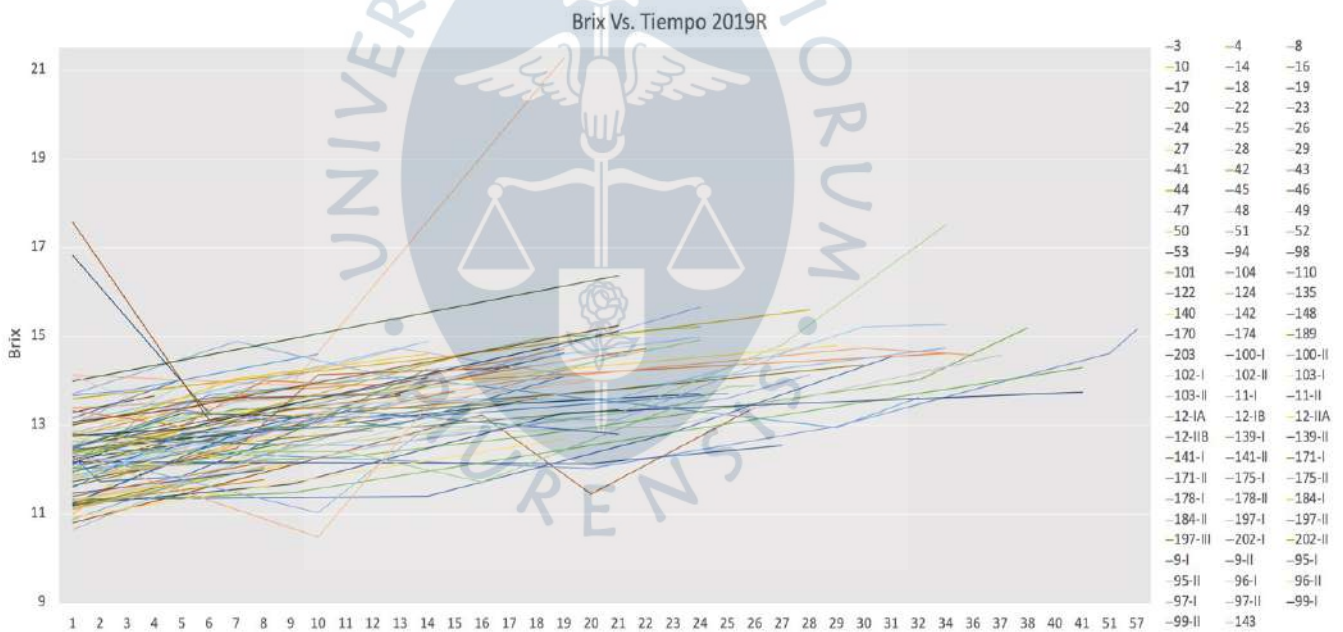


Figura 6 Evolución Brix vs. Tiempo - Bayas Rojas 2019 para los distintos parrones

Se observan comportamientos de grados Brix ligeramente diferentes en cada una de las gráficas. En general, el valor de los grados Brix no es estrictamente lineal; tiende a incrementar a cierta velocidad hasta la primera mitad del intervalo de tiempo; y luego, desacelera ligeramente su crecimiento. Esto corrobora lo descrito al inicio del capítulo y concuerda con la opinión de expertos con los que se consultó: mientras más maduras estén las uvas, menor es el incremento de grados Brix en el tiempo.

Asimismo, en ambas gráficas existen puntos con valores más bajos que los de sus predecesores. Esto se podría interpretar como algo poco coherente, pues teóricamente, esta variable no debería disminuir. Sin embargo, se debe recordar que esos puntos son promedios y esta inconsistencia se explica por un error en el muestreo, causada posiblemente por deficiencias en el trabajo práctico del personal encargado de realizarlos y/o por alguna equivocación relacionada a las medidas tomadas para garantizar la representatividad de la muestra.

3.1. Identificación de variables predictoras

Para relacionar estas variables con los grados Brix, el modelo que se utilizó fue el de regresión lineal de efectos mixtos. Se escogió este tipo de modelo en vez de uno lineal simple puesto que, permite tomar en cuenta la variabilidad existente entre los diversos parrones y, en consecuencia, se reduce el error del modelo.

Normalmente, este método se utiliza por al menos 3 razones (Charles E. McCulloch, 2008):

- Para aumentar la sensibilidad, haciendo comparaciones dentro del sujeto, que en este caso sería el parrón
- Para estudiar cambios a través del tiempo
- Para utilizar a los sujetos (parrones) eficientemente una vez que han sido inscritos en un estudio.

Para decidir cuándo un factor debe ser fijo o aleatorio en un estudio como este, se debe analizar cuáles efectos varían en cada sujeto. Entonces, cualquier efecto que no sea constante para todos los sujetos es clasificado como aleatorio.

La ecuación general que describe el modelo es la siguiente:

$$\hat{y}_{ij} = (\alpha_0 + \alpha_i) + \beta z_{ij} + \gamma_1 x_{1ij} + \dots + \gamma_n x_{nij}$$

Donde:

- \hat{y} es la variable respuesta
- α_0 es el promedio de los interceptos de todos los parrones
- α_i es el intercepto del parrón i
- β representa el efecto del tiempo (fijo para los parrones)
- z_{ij} representa el tiempo; el tiempo j para el parrón i
- $\gamma_1 \dots \gamma_n$ es el coeficiente de cada variable predictora (fijos para los parrones)
- $x_{1ij} \dots x_{nij}$ representa los valores de cada variable predictora para el parrón i y tiempo

En esta investigación se inició evaluando dos variables respuesta (y):

- Grados Brix final: grados Brix referentes a cierto parrón.
- Incremento: aumento diario de los grados Brix.

Para evaluar las variables predictoras que se consideró podrían tener cierto impacto en el proceso de maduración de las uvas, se partió de la información adquirida en campo, que fue posteriormente validada por los ingenieros de calidad de ECOSAC. Además, se consideró lo aprendido del material bibliográfico mencionado en el capítulo 2. A continuación se muestra la Tabla 12. Variables predictoras con las variables utilizadas y sus definiciones:

Tabla 12. Variables predictoras

Variable	Definición
Promedio de número de racimos**	Número promedio de racimos por parra.
Plantas por hectárea	Cantidad de plantas presentes en una hectárea.
Patrón	Parte de una planta, generalmente ubicado debajo de la tierra y que posee un sistema de raíces desarrollado, del que un crecimiento sobre tierra puede ser producido.
Edad	Tiempo transcurrido desde la plantación de una parra.
Tiempo	Días desde el primer muestreo hasta un muestreo dado, según el parrón.
Temperatura*	Magnitud escalar que mide la cantidad de energía térmica que tiene un cuerpo.
Humedad *	Agua de que está impregnado un cuerpo o que, vaporizada, se mezcla con el aire.
Punto de rocío*	Más alta temperatura a la que empieza a condensarse el vapor de agua contenido en el aire.
Índice THSW*	Índice que utiliza la humedad, temperatura y viento para calcular una temperatura aparente que incorpora el efecto de enfriado del viento y el efecto de calentamiento del sol sobre nuestra percepción de la temperatura.
Energía Solar*	Energía obtenida a partir de la radiación del sol, que llega a la Tierra en forma de luz, calor o rayos ultravioleta.
Dosis UV*	Cantidad de radiaciones UV a la que se expone un cuerpo.

*Valores calculados promediando los valores promedio de las medidas diarias desde el primer muestreo al subsiguiente.

**Promedio de los valores obtenidos en el muestreo de un parrón.

Se obtuvo data de los muestreos de campo realizados sobre la variedad Red Globe en los años 2018 y 2019. Estos datos incluyeron a las variables listadas en la tabla anterior a excepción de las variables climatológicas, que fueron solicitadas al encargado de la estación meteorológica de la Universidad de Piura; como se aprecia en la siguiente tabla:

Tabla 13. Resumen variables

	Fuente	Fecha			
		2018 O	2018 R	2019 O	2019 R
VARIABLES CLIMÁTICAS	UDEP – Estación meteorológica	30 julio 2018 –	3 agosto 2018 –	28 junio 2019 –	26 junio 2019 –
VARIABLES RESTANTES	Ecosac – Área de Aseuramiento de la Calidad	5 noviembre 2018	23 octubre 2018	26 noviembre 2019	23 noviembre 2019

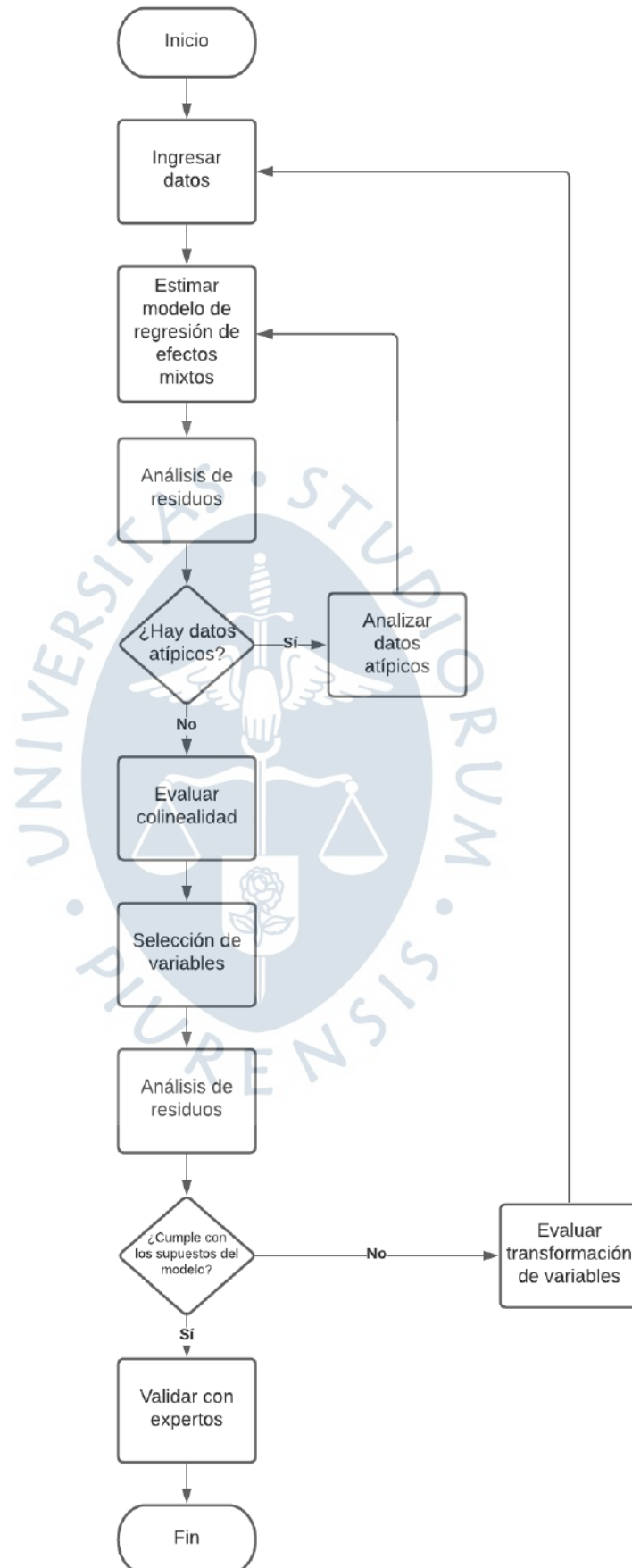
Después de la obtención de datos, se procedió a limpiarlos y organizarlos en tablas. Estas se introdujeron al software estadístico R con la interfaz RStudio. Los datos considerados para este análisis son los promedios de la data histórica.

Después del procesamiento de datos se notó que los resultados de R^2 de la variable respuesta “Incremento” eran muy bajos. Por lo tanto, dicha variable respuesta no cumple con los requerimientos de la empresa; no ayudaría para hacer pronósticos que ayuden a la toma de decisiones estratégicas. Es por ello que se desestimó usar esta variable como variable respuesta.

Análisis de datos en R

El procedimiento que se siguió fue bastante sistemático e iterativo. A continuación, se muestra un flujograma graficando el proceso mencionado, donde se detallan los pasos que se siguieron:

Figura 7 Proceso de análisis



Se inició con el ingreso de la tabla de datos a RStudio. Con esta data se hace una gráfica de Brix vs. tiempo para evaluar los puntos atípicos en cada parrón. Identificados estos datos, se prosiguió a eliminarlos y a realizar un primer análisis de la regresión lineal de efectos mixtos. Para ello se utilizaron todas las variables predictoras seleccionadas para esta investigación.

Como se ha mencionado anteriormente, la selección del modelo de regresión lineal de efectos mixtos se hizo debido a que los datos son series de tiempo y provienen de distintos parrones. Por lo tanto, hay variabilidad entre parrones y se desea desarrollar una regresión aplicable a todos ellos, tomando en cuenta que hay cambios en el tiempo.

La eliminación de los valores atípicos, como los señalados con un círculo rojo en la Gráfica 4. Identificación de atípicos, es esencial para modelamiento de datos porque de estar presentes en el análisis pueden llevar a interpretaciones erradas, pues no son representativas de la población.

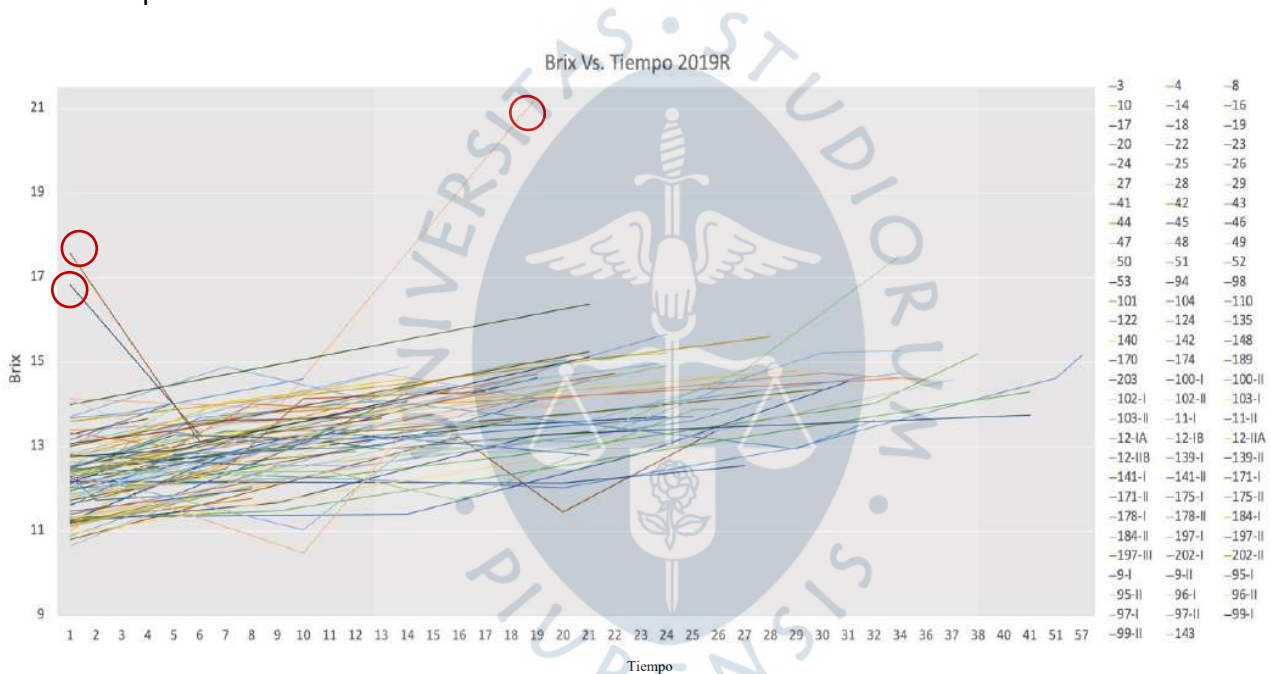


Figura 8 Gráfico de Brix vs. Tiempo

El siguiente paso consiste en revisar el FIV (factor de inflación de la varianza) de cada término. Esto se realiza con el fin de detectar si es que hay multicolinealidad² entre los términos, lo cual es problemático porque haría que los coeficientes sean inestables. Las consecuencias de tener coeficientes inestables son (Minitab, 2019):

- Los coeficientes pueden parecer insignificantes incluso cuando exista una relación significativa entre el predictor y la respuesta.

² Multicolinealidad: condición que ocurre cuando algunas variables predictoras incluidas en el modelo están correlacionadas con otras variables predictoras. (Minitab, 2019)

- Los coeficientes de los predictores muy correlacionados variarán ampliamente de una muestra a otra.
- La eliminación de cualquier término muy correlacionado del modelo afectará considerablemente los coeficientes estimados de los demás términos muy correlacionados. Los coeficientes de los términos muy correlacionados incluso pueden tener el signo equivocado.

Para evaluar la colinealidad se escribe el código para obtener los FIV de las variables. El resultado se ilustra en la Tabla 14. Valores FIV 2019R, proveniente de la data 2019R. Aquí hay 5 variables cuyos FIV son mayores a 3. Esto confirma la presencia de colinealidad. Se observa que la variable "PTHSW" tiene el FIV más alto, es por ello que se escribe el código de modo tal que se elimine esta variable primero.

Tabla 14. Valores FIV 2019R

Tiempo	PR	Edad	Densidad	Phum	PptoRoc	PTHSW	PESol	PDUV
1.511529	1.412830	1.762069	1.667606	41.226754	164.969561	231.882176	7.453268	7.247317

Se repite este paso, eliminando la variable con el mayor FIV, hasta que los coeficientes restantes no presenten indicios de multicolinealidad.

En este punto los datos ya están limpios y ordenados; y ahora se tiene que revisar si es que las variables restantes son significativas³.

Para poder determinar cuáles variables son significativas se utilizó el criterio de reducción de modelo AIC (Akaike Information Criterion). Se seleccionó este método porque a diferencia de la selección basada en los p-valores, no presenta problemas con la inflación del error tipo I debida a las comparaciones múltiples. Además, no es tan estricto en la eliminación de los predictores menos significativos, que tendería a incrementar la significancia de los otros predictores.

Cuando se realiza la reducción del modelo con el método AIC, se obtienen las siguientes gráficas, que se deben analizar para validar los supuestos del modelo:

- Gráfica de probabilidad normal: muestra los residuos vs. los valores esperados. Cuando la distribución es normal, esta gráfica se asemeja a una línea recta.

³ Variables significativas: En estadística una variable es significativa si el p-valor está por debajo un valor de significancia especificado. (Minitab18, 2019)

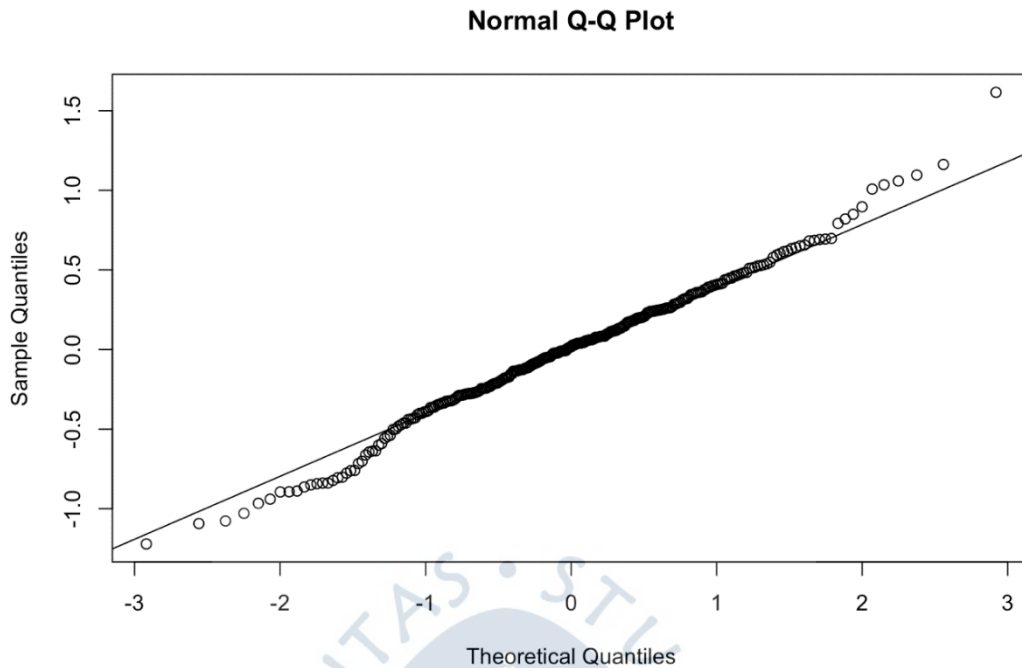


Figura 9 Gráfica de probabilidad 2019R

- Gráfica de residuos vs. ajustes: sirve para verificar el supuesto de que los residuos están distribuidos aleatoriamente y tienen una varianza constante. Lo ideal es que los puntos se ubiquen aleatoriamente a ambos lados del 0, con patrones no detectables.

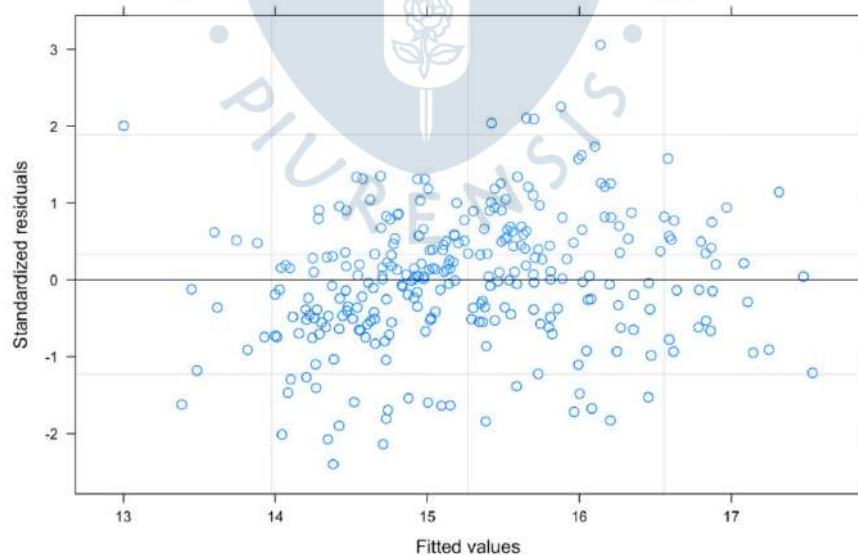


Figura 10 Gráfica de residuos vs. ajustes 2019R

- Gráfica de línea: muestra la respuesta y los datos de los predictores. Sirve para evaluar hasta qué punto el modelo se ajusta a los datos y si este cumple con los supuestos.

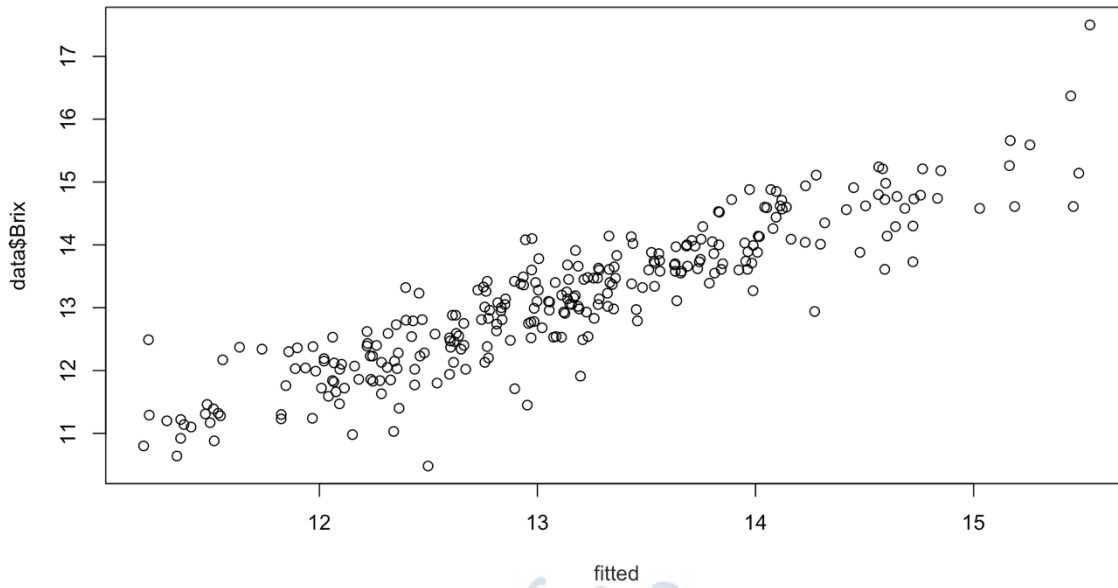


Figura 11 Gráfica de línea 2019R

Teniendo en consideración las condiciones específicas a cada una de las gráficas individuales, se llega a la conclusión de que esta confirma la normalidad de los residuos y por tanto la significatividad de la regresión final.

3.2. Resultados

Los resultados obtenidos de los modelos de regresión lineal de efectos mixtos para la variable Brix se resumen en la Tabla 15. Resumen resultados

Tabla 15. Resumen resultados

Modelo	Campaña 2018 Bayas oscuras (2018 O)	Campaña 2018 Bayas rojas (2018 R)	Campaña 2019 Bayas oscuras (2019 O)	Campaña 2019 Bayas rojas (2019 R)
Constante	21.9690*** (3.8163)	13.0676*** (0.1261)	21.6780*** (3.5950)	20.8845*** (1.7141)
Densidad				-0.0026** (0.0011)
Edad	0.1954** (0.0650)			
Energía solar			-0.4355** (0.2197)	
Humedad			-0.0757** (0.0400)	
Promedio de racimos				-0.0139*** (0.0048)
Punto de rocío	-0.5504** (0.2272)			-0.2850*** (0.0851)
Tiempo	0.0436*** (0.0052)	0.0640*** (0.0037)	0.0809** (0.0036)	0.0782*** (0.0044)
R ² ajustado	0.6271	0.7814	0.8226	0.8181

* $0.05 < p < 0.1$

** $0.01 < p < 0.05$

*** $p < 0.01$

3.2.1 Interpretación de la ecuación de regresión

Se puede observar que los valores p de las variables predictoras de los modelos 2018 R y 2019 R son menores a 0.05, lo que supondría que todos son significativos. Por otro lado,

en los modelos 2018 O y 2019 O sí se encuentran variables con valores mayores a 0.05. Sin embargo, no se descartan debido a que se utilizó el método AIC. En consecuencia, bajo el criterio utilizado, todos finales son significativas.

Los resultados mostrados en la *Tabla 15*. Resumen resultados se expresan de la siguiente manera:

- Para el modelo 2019 R: Los grados Brix promedio de los racimos rojos de los parrones en el año 2019 disminuyen 0.0026 por cada unidad de densidad; manteniendo el resto de las variables constantes. Con esta misma lógica se interpretan los demás coeficientes de los términos restantes.

- Se repite la misma secuencia para la interpretación de los demás modelos.

Se observa que tanto para los modelos del 2018O y 2019R está presente la variable punto de rocío y para ambos, esta variable puede afectar a la fruta de manera negativa. El punto de rocío es una variable climática que está directamente relacionada con la temperatura y la humedad. Cuando se hizo la consulta en campo, los expertos indicaron que el exceso humedad genera complicaciones en las bayas, sobre todo cuando ha habido un mal raleo. Esto es debido a que aumenta la probabilidad de hongos y de pudrición.

Por otro lado, se vio que en todos los modelos se obtuvo como variable independiente el tiempo. Esto es coherente pues el incremento de los grados Brix está directamente relacionado al tiempo. Cuando este aumenta, los grados Brix también aumentan. Sin embargo, cabe recalcar (como se comentó anteriormente) que este crecimiento no es estrictamente lineal, llega un momento en que hay una desaceleración ligera en el aumento de Brix, lo cual, en la mayoría de los casos, indica que la uva ya está lista para ser cosechada.

Por ello se evaluó la transformación de la variable Tiempo para conseguir un modelo lineal para ver si esto mejoraba la estimación de los grados Brix. Dicha transformación consistió en aplicar la raíz cuadrada a la variable Tiempo. Al analizar los resultados, se notó que los coeficientes de las variables predictoras de cada modelo fueron similares a los que se obtuvieron en los modelos iniciales.

En la *Tabla 16*. Resultados vs. Resultados transformados , se pueden observar los R^2 resultantes para los modelos con la variable Tiempo, en la primera fila y con la variable Tiempo transformada, en la segunda.

Tabla 16. Resultados vs. Resultados transformados

Modelo	2018O	2018R	2019O	2019R
R ² ajustado	0.6271	0.7814	0.8826	0.8181
R ² ajustado - Transformación	0.6302	0.8273	0.8240	0.8053

Los resultados obtenidos son bastante similares para cada modelo a excepción del 2018R, donde se ve un aumento de 4 puntos porcentuales. No obstante, las diferencias no se consideraron lo suficientemente relevantes como para que se utilice la transformación de la variable Tiempo en el modelo final.

3.2.2 Interpretación de la bondad de ajuste del modelo

Los valores de R² obtenidos para cada modelo explican por lo menos el 60% de las respectivas variaciones en las respectivas respuestas. Se observa que estos valores son bastante mayores en el año 2019, independientemente del tipo de racimo (color oscuro o color rojo). Es así que, el modelo 2018O tiene un R² de 62.71%, menor al 78.14% correspondiente al modelo 2018R; mientras que el modelo 2019O tiene un R² de 82.26%, mayor al 81.81% del modelo 2019R.

El R² de los modelos se puede interpretar de las gráficas mostradas a continuación, en donde se ven los grados Brix reales vs. los estimados. La variabilidad de cada uno de los modelos se puede interpretar de las gráficas de línea. Esto se lleva a cabo con la identificación de tendencias y grado de dispersión. Cuando se analizan lado a lado los valores R² de cada modelo y sus respectivas gráficas de línea se encuentra una relación inversa entre estas. Los modelos con gráficas que presentan datos más dispersos y formas más indefinidas presentan menores valores de R².

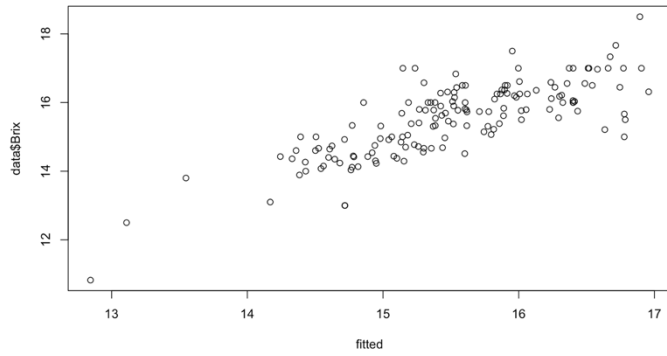
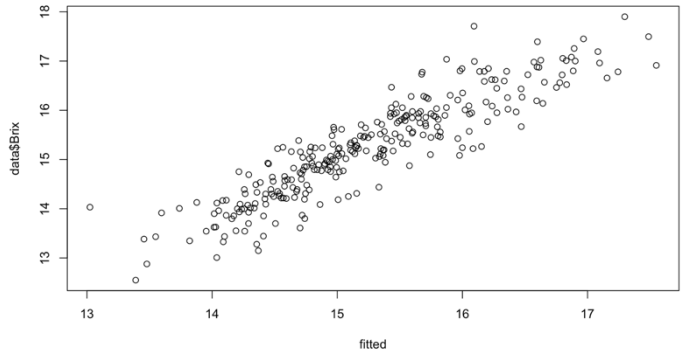
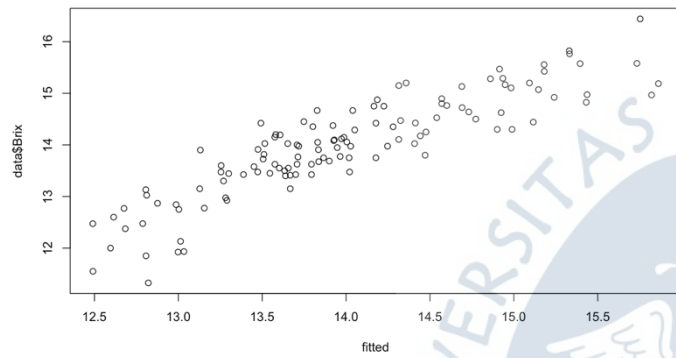
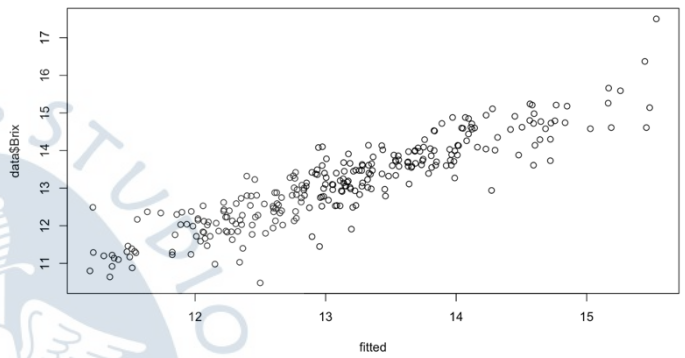
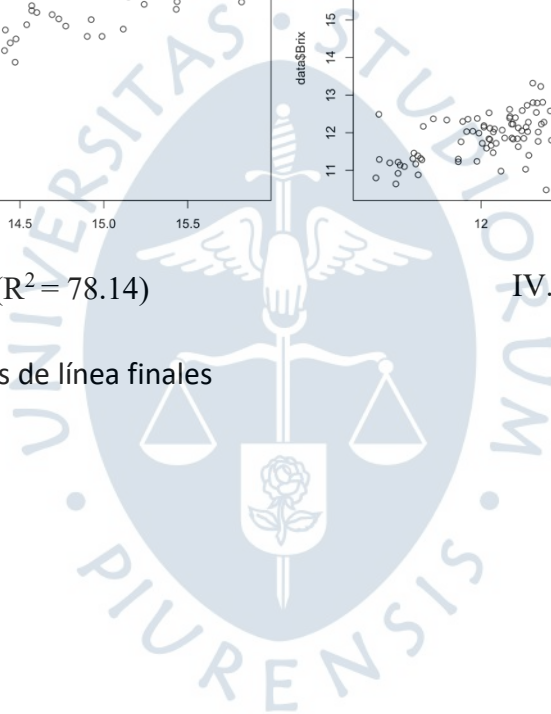
I. 2018O ($R^2 = 62.71$)II. 2019O ($R^2 = 82.26$)III. 2018R ($R^2 = 78.14$)IV. 2019R ($R^2 = 81.81$)

Figura 12 Gráficas de línea finales



Capítulo 4

Propuesta de sistema de muestreo

En este capítulo se explicará la razón por la que se propone un nuevo sistema de muestreo de uvas para la empresa. Además, se describirá a detalle este nuevo sistema y las bases sobre las que se desarrolló.

Para todo el sector agrícola, incluido ECOSAC, es de vital importancia pronosticar las fechas tentativas en las que se debería dar la cosecha pues de esto dependen las decisiones del área comercial y logística. Para la primera, es importante saber cómo y cuándo será la cosecha porque así son capaces de aprovechar las oportunidades que se presentan en distintas ventanas comerciales. Para la segunda, es importante porque les permite concretar las fechas de transporte de la mercancía. Una mala estimación podría generar un problema en la cadena de suministro, clientes insatisfechos y pérdidas monetarias para la empresa. Para garantizar que la calidad de la cosecha durante las etapas del proceso productivo cumpla con los estándares, la empresa cuenta con distintos tipos de muestreos.

Sin embargo, se han detectado ciertas diferencias entre los datos obtenidos en los muestreos. Esto se debe a la variabilidad causada por el clima de la zona, el suelo, las características de las plantas y del modo en que han sido sembradas y de la disposición de la mano de obra (Dami, 2013).

Teniendo en cuenta lo descrito anteriormente, se tomó como base el método LHS (*Latin Hypercube Sampling*) para desarrollar y proponer un nuevo sistema de muestreo. En este se define un espacio muestral que se divide en sectores, donde se tomarán las muestras.

4.1. LHS (*Latin Hypercube Sampling*)

Para poder comprender el origen del método LHS, se debe primero hablar de la técnica de muestreo Montecarlo. Esta consiste en la generación de una muestra de variable aleatoria, utilizando las funciones distribución de probabilidad acumulada de la variable para obtener los valores que constituyen la muestra. Esta técnica requiere un gran número de muestras

para obtener una adecuada representación de la función distribución. (Barón & Núñez Mac Leod, 1999).

Una vez generada la muestra, el modelo numérico es corrido para cada valor de la muestra y las variables *output* que se obtienen son consideradas variables aleatorias, basándose en el principio de transformación de variables. El proceso debe ser repetido para cada variable *input* de interés. (Barón & Núñez Mac Leod, 1999).

Para reducir el tamaño necesario de la muestra, fueron desarrollados métodos Montecarlo estratificados. Estos métodos permiten una buena representación usando técnicas de muestreo con un valor de muestra para cada sector de una variable. Además, para permitir el análisis simultáneo multivariable es que fue creado el LHS. En el LHS no solo se generan muestras estratificadas, sino también se aplica un emparejamiento aleatorio de muestras de diferentes variables. (Barón & Núñez Mac Leod, 1999).

El método LHS consiste en la selección de los parámetros y variables correctas a ser muestreadas, la asignación de las distribuciones de probabilidad para cada una, la subdivisión de cada distribución de probabilidad en un número de intervalos equiprobables definidos *a priori*, la generación de muestras aleatorias dentro de cada intervalo y para cada variable, y finalmente el emparejamiento aleatorio entre las variables *input* y los parámetros. Como resultado del método de muestreo, una serie de vectores *input* son obtenidos, siendo el número de vectores el número de intervalos de muestras, y el tamaño de cada vector el número de variables a estudiar. (Barón & Núñez Mac Leod, 1999).

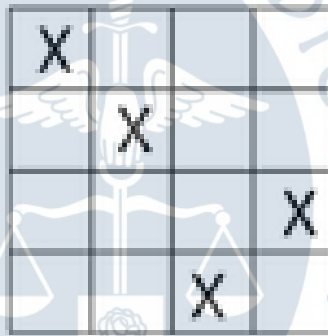
Cuando el input de vectores es obtenido, se corre el modelo numérico, una vez por cada vector input. Esto significa que el modelo numérico se tiene que correr tantas veces como intervalos son asumidos *a priori* en la definición de intervalos y esto no depende del número de variables muestreadas. Usualmente, esta técnica permite la reducción del tamaño de la muestra en uno o más órdenes de magnitud para obtener cierta representatividad, comparado con la clásica técnica Montecarlo. (Barón & Núñez Mac Leod, 1999).

Sin embargo, hay un problema, la representatividad de los resultados solo puede ser observada a posteriori de la corrida del modelo numérico. En el caso de que no sea satisfactoria, un nuevo muestreo de mayor tamaño debe ser generado, incrementando el número de intervalos. Para la muestra más grande, los resultados del modelo numérico obtenido anteriormente no pueden ser utilizados porque causan conflictos en la etapa de emparejamiento y distorsionar las características estadísticas de los resultados. Estas limitaciones del LHS se vuelven muy serias cuando se corren modelos complejos y por esta razón es que un método que supera esta limitación es de utilidad (Barón & Núñez Mac Leod, 1999).

4.2. Prueba inicial de metodología de muestreo

Partiendo de la premisa de que el método de muestreo realizado en campo no es el más eficiente, se decidió realizar 4 muestreos de prueba en 3 parrones, basándose en el concepto de LHS.

Primero se hacen ajustes al área que se va a muestrear para que esta pueda cumplir con las características deseadas, para ello se aprovecha la regla de no muestrear las 5 filas y columnas adyacentes al perímetro. Luego se fija el número de muestras n , del que se obtendrá la cantidad de subsectores para el LHS, n^2 . Cada subsector debe tener dimensiones similares, pero como se trabaja con parrones irregulares, se encontró la necesidad de modificar las dimensiones de algunos de ellos para que se adapten por lo que las medidas de largo y ancho son diferentes a pesar de que los lados del área total a muestrear están divididos en n partes. Por ejemplo, si se toman 25 muestras, cada lado del área a muestrear tendrá 25 subsectores, obteniendo 625 subsectores en total. En cada fila y columna debe haber solo una muestra, como se observa en la figura 13.



X			
	X		
			X
		X	

Figura 13 LHS

Fuente: Wikipedia (s.f.)

Para asegurar la aleatoriedad se programó en Excel un macro, el cual permite visualizar el subsector en el que se tomará la muestra, como se ve en la Figura 14. Subsectores

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	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125
126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150
151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175
176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200
201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225
226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250
251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275
276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300
301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325
326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350
351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375
376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400
401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425
426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450
451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475
476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500
501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525
526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550
551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575
576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600
601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625

Figura 14 Subsectores

Luego de identificar los subsectores, se creó una función en Excel que escoge aleatoriamente que planta se va a muestrear, esto depende de la cantidad de filas y de las plantas por fila que tiene el parrón. Los subsectores pueden tener diferentes dimensiones y esto permite que esta metodología se pueda adaptar a parrones con forma irregular.

Con esta información se realiza una tabla, como la que se puede observar en la figura 15. En esta se coloca el sector, la fila, la planta a muestrear, y los datos que se van a obtener.

Sector	Fila	Planta	Oscura		Roja	
			Brix	N° de racimos	Brix	N° de racimos
349	5	54				
123	8	2				

Figura 15 Ejemplo tabla de muestreo

Previo a la realización del muestreo se debe señalar el parrón. Para esto se colocan etiquetas cada diez plantas con características que las hacen identificables a distancia, de modo que el muestreo sea más eficiente.



Figura 16 Etiquetas en parrón

4.3. Resultados de muestreos realizados

1° prueba: Muestreo de calibre en el parrón 11

El día 7 de agosto del 2019 se realizó el muestreo de calibres utilizando el método propuesto (LHS) y el método que actualmente emplea la empresa (ECOSAC). El parrón 11 tiene un área superficial de 5.3 hectáreas, cuenta con 62 filas con 122 plantas cada una.

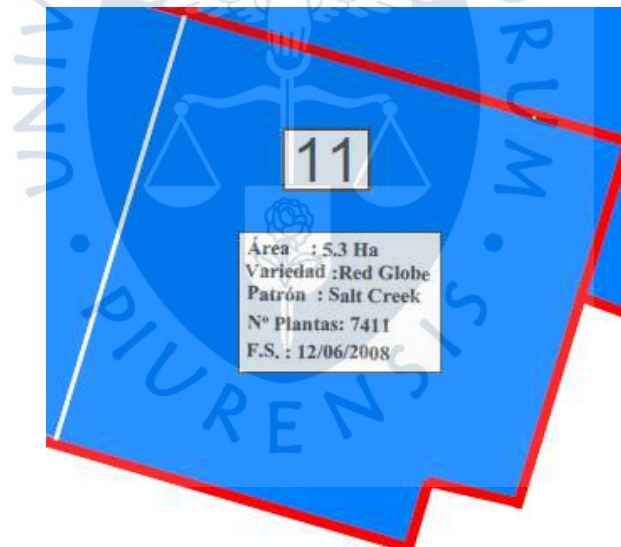


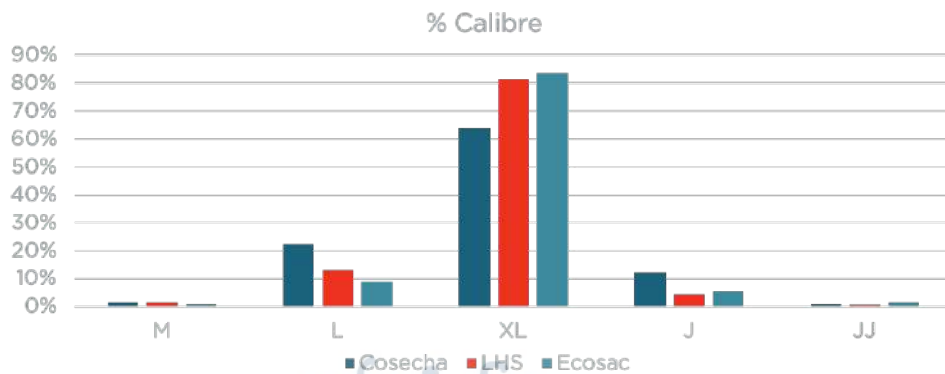
Figura 17 Plano del parrón 11

Fuente: ECOSAC

Debido su extensión, el parrón fue dividido en dos y se tomaron 25 muestras en cada parte. El calibre de las bayas durante la fase posterior al envero o maduración alcanza su tamaño máximo (Stafne & Martinson, 2019) por lo que el muestreo de calibre realizado la semana previa a la cosecha permite tener una noción de la calidad de la uva. Para realizar el muestreo no se tomaron en cuenta las filas que estaban en el perímetro.

En la gráfica 1 se puede apreciar que los tres tipos de muestreos siguen una distribución normal con media en el calibre XL.

Gráfica 1. Calibre del parrón 11



En la Tabla 17, se puede observar que la diferencia entre los resultados de los muestreos LHS y ECOSAC es mínima. El margen promedio es 1.3%, siendo el margen mayor el del calibre L con 3.85% y el menor, el del calibre M con 0.34%.

Comparando los muestreos LHS y ECOSAC con el muestreo de la cosecha se puede apreciar que el muestreo LHS tiene menor margen promedio (7.6%), siendo el mayor el del calibre XL con 19% y el menor el M con 0.03%.

Tabla 17. Margen entre resultados de los distintos muestreos de calibre en parrón 11

Margen	M	L	XL	J	JJ	Margen promedio
LHS-ECOSAC	0.34%	3.85%	-2.16%	-1.09%	-0.95%	1.30%
LHS-Cosecha	-0.03%	-8.21%	19.00%	-10.07%	-0.69%	7.60%
ECOSAC-Cosecha	-0.37%	-12.06%	21.16%	-8.98%	0.26%	8.57%

2° prueba: Muestreo de calibre en el parrón 14

El día 19 de agosto del 2019 se realizó el muestreo de Brix de racimos oscuros utilizando el método propuesto (LHS) y el método que actualmente emplea la empresa (ECOSAC). Por otro lado, el muestreo realizado en la cosecha se dio el 27 de agosto. El parrón 14 tiene un área de 3.9 hectáreas, cuenta con 62 filas; de la 1 a la 25 con 64 plantas cada una y de la 26 a la 62, con 88 plantas cada una. Se tomaron 25 muestras en todo el parrón. Para realizar el muestreo no se tomaron en cuenta las filas que estaban en el perímetro.

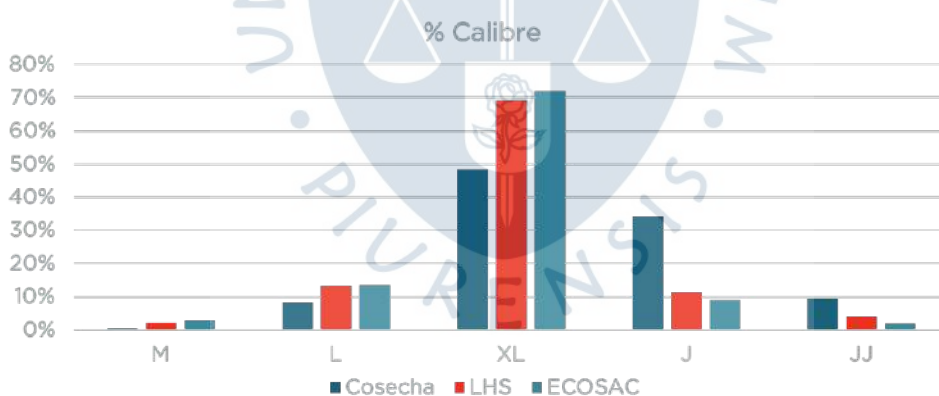


Figura 18 Plano parrón 14

Fuente: ECOSAC

En la gráfica 2 se puede apreciar que para los tres muestreos se obtienen distribuciones similares, que se pueden clasificar como normales con la media en el calibre XL. Además, los resultados arrojan proporciones con respecto al tamaño de bayas muy similares a las de los muestreos realizados en el parrón 11.

Gráfica 2. Calibre en parrón 14



El margen entre resultados que se observan entre el LHS y ECOSAC en la Tabla 18, son pequeños, siendo el mayor de 2.92% en el tamaño XL. Sin embargo, se puede observar que el margen entre ambos muestreos previos a la cosecha y el realizado en la cosecha es mayor, siendo el LHS el que tiene menor margen promedio de 10.37%.

Tabla 18. Margen entre resultados muestreo LHS y ECOSAC de calibre en parrón 14

MARGEN	M	L	XL	J	JJ	Margen promedio
LHS - ECOSAC	-0.90%	-0.67%	-2.92%	2.59%	1.90%	1.80%
LHS-Cosecha	1.95%	4.84%	19.14%	-19.49%	-6.44%	10.37%
ECOSAC-Cosecha	2.85%	5.51%	22.06%	-22.08%	-8.34%	12.17%

3° prueba: Muestreo de Brix en el parrón 14

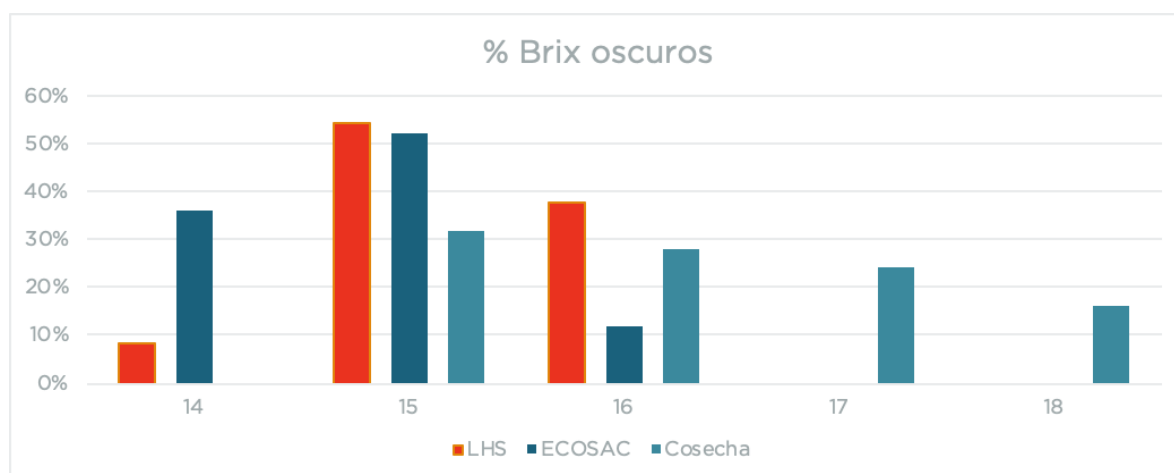
El día 19 de agosto del 2019 se realizó el muestreo de Brix de racimos oscuros utilizando el método propuesto (LHS) y el método que actualmente emplea la empresa (ECOSAC). Por otro lado, el muestreo realizado en la cosecha tuvo lugar el 27 de agosto. El parrón 14 tiene un área de 3.9 hectáreas, cuenta con 62 filas; de la 1 a la 25 con 64 plantas cada una y de la 26 a la 62, con 88. Se tomaron 25 muestras en todo el parrón.

El muestreo de grados Brix se divide en 2; uno dirigido a los racimos con bayas oscuras y otro, a racimos con bayas rojas. Esto hace que la variabilidad en los resultados aumente, pues el método de clasificación de racimos oscuros y rojos se basa en el criterio de las personas que realizan el muestreo.

Los grados Brix de las bayas sirven para tener una idea de la madurez de las uvas y en la etapa previa a la cosecha suele aumentar 1 grado por semana; este aumento se va reduciendo mientras se acerca la cosecha. Para realizar el muestreo no se tomaron en cuenta las filas que estaban en el perímetro.

En la gráfica 3 se puede apreciar que para los tres muestreos se obtienen distribuciones asimétricas positivas similares.

Gráfica 3. % de Brix en bayas oscuras en parrón 14



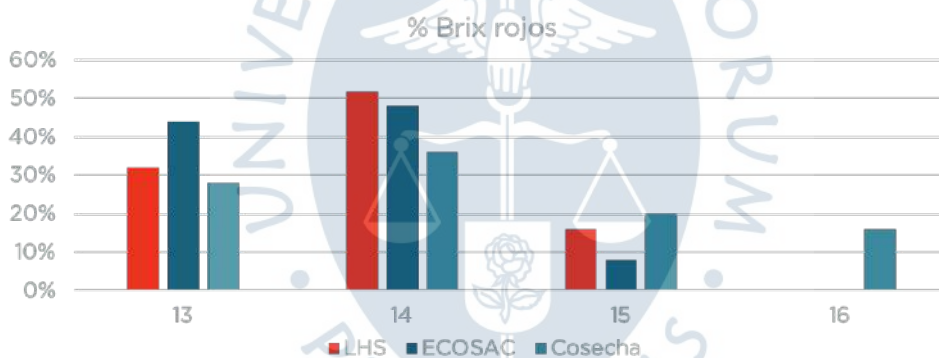
En la *Tabla 19*, se puede apreciar que el margen promedio entre los muestreos LHS y ECOSAC es 18%, siendo el margen mayor 28% en 14 Brix. Comparando los muestreos previos a la cosecha con el de cosecha, se puede observar que el LHS tiene menor margen (16%). Sin embargo, la diferencia en el margen promedio entre LHS-Cosecha y ECOSAC-Cosecha es 6%.

Tabla 19. Margen entre muestreos de Brix en bayas oscuras en parrón 14

Margen	14	15	16	17	18	Margen promedio
LHS-ECOSAC	-28%	2%	26%			18%
LHS-Cosecha	8%	22%	10%	-24%	-16%	16%
ECOSAC-Cosecha	36%	20%	-16%	-24%	-16%	22%

Como se puede apreciar en la gráfica 4, tanto el muestreo LHS y el muestreo ECOSAC tienen una distribución normal.

Gráfica 4. % de Brix en bayas rojas en parrón 14



En la *Tabla 20*, se puede apreciar que el margen promedio entre los muestreos LHS y ECOSAC es 6%, siendo el margen mayor 12% en 13 Brix. Comparando los muestreos previos a la cosecha con el de cosecha, se puede observar que el LHS tiene menor margen (10%). La diferencia en el margen promedio entre LHS-Cosecha y ECOSAC-Cosecha es 4%.

Tabla 20. Margen entre muestreos de °Brix en bayas rojas en el parrón 14

Margen	13	14	15	16	Margen promedio
LHS-ECOSAC	-12%	4%	8%	0%	6%
LHS-Cosecha	4%	16%	-4%	-16%	10%
ECOSAC-Cosecha	16%	12%	-12%	-16%	14%

4° prueba: Muestreo de Brix en el parrón 174

El día 23 de septiembre del 2019 se realizó el muestreo de Brix de racimos oscuros utilizando el método propuesto (LHS) y el método que actualmente emplea la empresa (ECOSAC). Por otro lado, el muestreo realizado en la cosecha tuvo lugar el 2 de octubre. El parrón 174 tiene un área de 3.71 hectáreas, cuenta con 42 filas. Se decidió realizar 30 muestras para probar si es que el margen con el muestreo de cosecha disminuía.

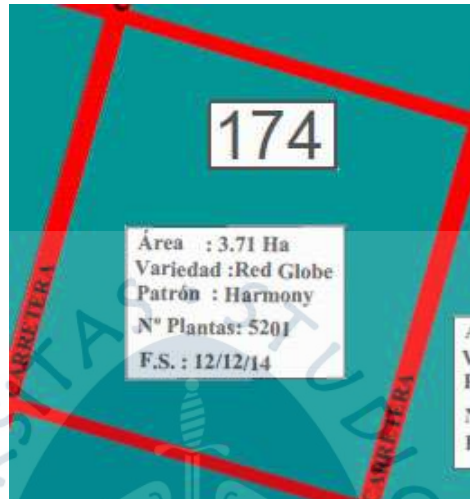
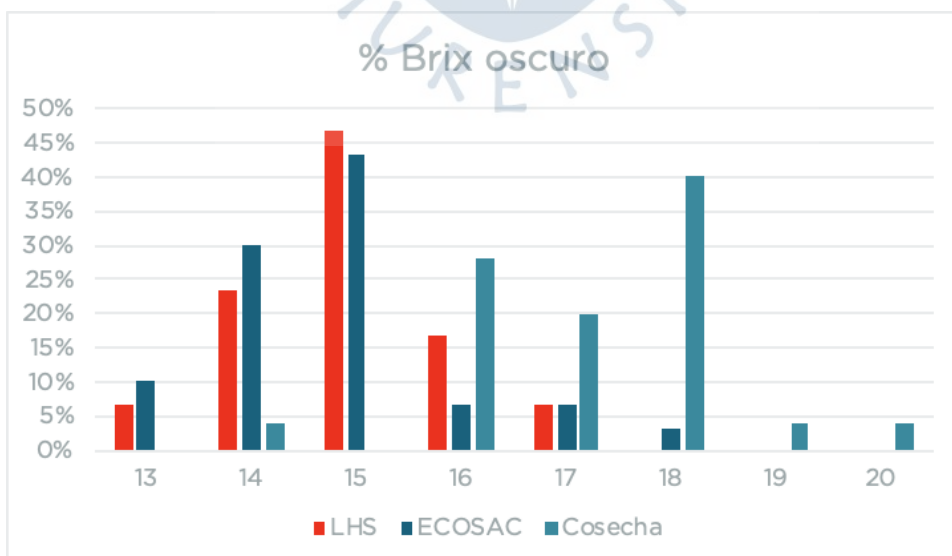


Figura 19 Plano parrón 174

Fuente: ECOSAC

Como se puede apreciar en la gráfica 5, tanto el muestreo LHS y el muestreo ECOSAC tienen una distribución normal.

Gráfica 5. %Brix en bayas oscuras en parrón 174



En la *Tabla 21*, se puede apreciar que el margen promedio entre los muestreos LHS y ECOSAC es 4%, siendo el margen mayor 10% en 16 Brix. Comparando los muestreos previos a

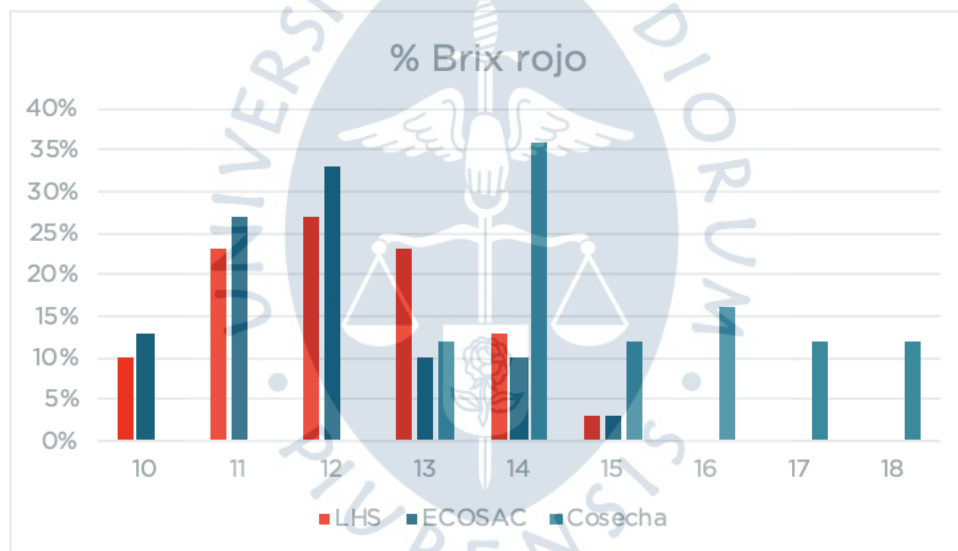
la cosecha con el de cosecha, se puede observar que el LHS tiene menor margen (18%). Sin embargo, la diferencia en el margen promedio entre LHS-Cosecha y ECOSAC-Cosecha es 2%.

Tabla 21. Margen entre muestreos de Brix en bayas oscuras en parrón 174

Margen	13	14	15	16	17	18	19	20	Margen promedio
LHS-ECOSAC	-3%	-7%	3%	10%	0%	-3%			4%
LHS-Cosecha	7%	19%	47%	-11%	-13%	-40%	-4%	-4%	18%
ECOSAC-Cosecha	10%	26%	43%	-21%	-13%	-37%	-4%	-4%	20%

Como se puede apreciar en la gráfica 6, tanto el muestreo LHS y el muestreo ECOSAC tienen una distribución normal.

Gráfica 6. % Brix en bayas rojas en parrón 174



En la Tabla 22, se puede apreciar que el margen promedio entre los muestreos LHS y ECOSAC es 5%, siendo el margen mayor 13% en 13 Brix. Comparando los muestreos previos a la cosecha con el de cosecha, se puede observar que el LHS tiene menor margen promedio (16%), sin embargo, la diferencia entre el margen de LHS-Cosecha y ECOSAC-Cosecha es 1%.

Tabla 22. Margen entre muestros de °Brix en bayas rojas

Margen	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Margen promedio
LHS-ECOSAC	-3%	-4%	-6%	13%	3%	0%				5%
LHS-Cosecha	10%	23%	27%	11%	-23%	-9%	-16%	-12%	-	16% 12%
ECOSAC-Cosecha	13%	27%	33%	-2%	-26%	-9%	-16%	-12%	-	17% 12%

Se puede concluir entonces que el LHS muestra valores más cercanos a los de la cosecha que los obtenidos mediante el muestreo de ECOSAC. Sin embargo, el margen es mayor de lo esperado porque se utilizaron los criterios de muestreo empleados por ECOSAC (una uva por planta, 25 muestras, diferenciando por color).

4.4. Sistema de muestreo final

En base a lo observado durante la prueba inicial de la metodología de muestreo y a los resultados obtenidos, se propone el sistema de muestreo que cuenta con los siguientes pasos:

1. Señalización de parrones: instalación de *tags* fosforescentes con número grandes y claros. Estos deben ser instalados cada 10 filas y cada 10 columnas. Este paso solo se realiza una vez por parrón.
2. Selección de muestras: generar la muestra en el Macro desarrollado en Excel, colocando las dimensiones del parrón y la cantidad de muestras. La ubicación de la muestra queda registrada en una tabla.
3. Medición y registro de muestras: se registran las medidas de la variable que se está muestreando, siguiendo las políticas de calidad de la empresa y registrando observaciones. Se deben realizar 3 mediciones por racimo. El registro será en Excel online utilizando las tablets que ya cuenta la empresa.
4. Envío de data recolectada en campo: estos datos se tendrán que enviar por correo al encargado del área de aseguramiento de la calidad que maneja las bases de datos.
5. Registro en base de datos: el encargado de aseguramiento de calidad realizará la incorporación de esta data sin transformarla ni hacer cambios de formato. Los datos deben ser “jalados” de esta plantilla inicial hacia la base de datos final.
6. Explotación de la data: cuando se necesite utilizar los datos de los muestreos por cualquier colaborador de la empresa, quién debe enviar esta información es la persona encargada de la base de datos. No se aplicará ninguna transformación o se le dará acceso para editar la base a terceros. Lo que se hará es extraer los datos necesarios y enviarlos.



Figura 20. Proceso de muestreo propuesto

Conclusiones

En la agroindustria es muy común observar hábitos de trabajo en campo basados en el saber práctico, lo cual incrementa los sesgos al momento del muestreo. Esto hace que los resultados obtenidos no sean los óptimos para predecir la calidad.

Uno de los factores que genera imprecisiones en el muestreo es la disposición de los trabajadores. Se ha observado que no existen horarios específicos para los muestreos. Esto lleva a que frecuentemente no tengan medios de transporte disponible para trasladarse de un parrón a otro y que tengan que caminar largas distancias en un clima desértico; o que se programen actividades como fumigaciones a la misma hora, lo cual retrasa sus labores. Además, todo esto contribuye a que el proceso sea ineficiente.

Adicionalmente, la calidad de los datos se reduce debido a que su registro es manual. Una vez registrados son transcritos una serie de veces antes de llegar a la base de datos.

En el muestreo actual no se registran las plantas de las que se obtienen las muestras. Esta es una oportunidad perdida, pues el hacerlo serviría para detectar anomalías y prevenir problemas. Es por eso que se propuso como una alternativa la metodología del hipercubo latino. Sin embargo, al comparar el muestreo de la empresa con el muestreo propuesto (*Latin Hypercube Sampling*), los márgenes obtenidos son cercanos, pero el de LHS se acerca más a los resultados obtenidos en la cosecha. Esta similitud entre los resultados de ambos muestreos podría ser explicada por las malas prácticas descritas anteriormente.

Se evaluaron dos variables respuestas sobre las que se podría tomar las decisiones estratégicas más relevantes para la empresa. Estas fueron el incremento de grados Brix y los grados Brix. Sin embargo, se descartó la variable incremento porque los resultados de R^2 fueron muy bajos. Adicionalmente, se evaluaron dos tipos de modelos de regresión: regresión lineal simple y regresión lineal de efectos mixtos. No obstante, el modelo de efectos mixtos fue con el que se obtuvo mejores resultados porque considera los errores que hay entre los parrones. Los modelos obtenidos son válidos puesto que cumplieron con los supuestos de normalidad, linealidad, homocedasticidad e independencia. Por último, se confirmó la sospecha de que para cada año y tipo de baya iba a haber un modelo diferente.

Recomendaciones

Es importante poder identificar la planta o la zona dentro del parrón en donde se realizó el muestreo, como se plantea en el sistema propuesto, con el fin de identificar anomalías y para evaluar mejor su evolución.

Se recomienda estandarizar el proceso de muestreo para así obtener mejores resultados. Esto consistiría en establecer un protocolo que contemple la cantidad de muestras que se deben tomar por planta, registrar las anomalías observadas y establecer las acciones a seguir cuando estas se encuentren. Por otro lado, se sugiere asignar un horario para la recolección de las muestras, crear un formato digital para la recopilación de datos que minimice las operaciones aritméticas manuales y que reduzca los pasos por los que tienen que pasar para llegar a la base de datos.

Adicionalmente, se recomienda que para futuras investigaciones sobre el tema se considere la evaluación del tipo de suelo, el cronograma y sistema de riego, el uso de pesticidas y nutrientes y que se repitan los testeos por lo menos en 5 parrones de una variedad de uva de mesa por un ciclo productivo para poder evaluar mejor la evolución de los grados Brix.

Referencias bibliográficas

- Agronegocios Génesis. (s.f.). Patrones. Lima, Perú.
- Agrospec. (s.f.). *Cianamida Hidrogenada*. Obtenido de https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/resol._renov._agrospec_s.a._cianamida_hidrogenada_50_sl_agrospec_-_anexo_etiqueta_-_cianamida_hidrogenada_50_sl_agrospec.pdf
- Barón, J., & Núñez Mac Leod, J. (septiembre de 1999). Scalability on LHS samples for use in uncertainty analysis of large numerical models.
- Centro Tecnológico de la Vid y el Vino. (2010). Muestreos de Madurez. Chile: Programa territorial integrado.
- Charles E. McCulloch, S. R. (2008). *Generalized, Linear, and Mixed Models*.
- Dami, I. (2013). Determining Grape Maturity and Fruit Sampling. Ohio, Estados Unidos: Ohio State University College of Food, Agricultural and Environmental Sciences.
- ECOSAC. (Julio de 2019). Manual de Procedimiento de Uva de Mesa 2019 GCA-M-204. Piura, Perú.
- El Tiempo. (12 de febrero de 2019). Envíos de uva fresca alcanzan cifra récord en la región Piura. Piura.
- Fong Renteria, J. R. (24 de julio de 2019). Agro en Piura 2019: exportación de uva se dispara y producción de arroz se contrae. Perú: Infomercado.
- Gestión. (diciembre de 2017). *Perú ocupa el tercer lugar en productividad de uva en el mundo*. Obtenido de Gestión: <https://gestion.pe/economia/peru-ocupa-tercer-lugar-productividad-uva-mundo-222930-noticia/>
- Hillin, D. (julio de 2019). Grape Berry Ripening and Sampling Techniques. Texas, Estados Unidos : Texas A&M Viticulture & Enology.
- Minitab. (2019). *Multicolinealidad en regresión*. Obtenido de Soporte Minitab 18: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling->

statistics/regression/supporting-topics/model-assumptions/multicollinearity-in-regression/

Minitab18. (2019). Obtenido de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/basics/statistical-and-practical-significance/>

PROVID. (s.f.). *Variedades de uva que exporta el Perú*. Obtenido de PROVID Perú: <http://www.providperu.org/website/index.php/area-tecnica/variedades>

SENASA. (18 de noviembre de 2019). Piura: Exportación de uva supera las 54 mil toneladas en el inicio de la campaña. Perú.

Stafne, E., & Martinson, T. (20 de junio de 2019). *Etapas del Desarrollo de la Uva*. Estados Unidos: Grapes Community of Practice.

Utiel-Requena. (abril de 2018). *Las partes de la planta de la uva, la vid*. Obtenido de Utiel-Requena: <https://utielrequena.org/las-partes-de-la-planta-de-la-uva-la-vid/>



Anexos




Anexo A: Formatos de muestreo

A.1 Evaluación de yemas/cargador

Este formato es utilizado por el área de aseguramiento de la calidad para evaluar la poda. Esta evaluación es realizada a 25 plantas dentro de un parrón. Los encargados deben poner primero la fecha en que se realizó la evaluación, el parrón, el jefe de campo a cargo de ese parrón, la variedad de uva, la superficie y el total de plantas del parrón.

Seleccionada una planta, se debe de anotar todos los pitones que tiene, luego el número de cargadores, separándolos por tipo (normal, débil) Después, se cuentan las yemas de todos los cargadores y se saca un promedio.

		EVALUACIÓN DE YEMAS / CARGADOR		Versión/ Fecha		
				01/07-05-2019		
FECHA:		PARRÓN	JEFE DE CAMPO:		Rev:	Aprob:
VARIEDAD:		SUPERFICIE:	TOTAL DE PLANTAS:		JUT	GLA
N° MUESTRA	PITONES	CARGADORES				
		N° CARGADOR NORMAL	YEMAS/ CARGADOR NORMAL	N° CARGADOR DÉBIL	YEMAS/ CARGADOR DÉBIL	TOTAL N° CARGADOR
1						
2						
3						
4						
5						

Se suman todas las muestras y se les saca un promedio. Se debe de verificar si es que este promedio es cercano a las especificaciones teóricas dadas por campo. Finalmente, el formato es firmado por el inspector de calidad y por el jefe de aseguramiento de calidad.

23					
24					
25					
Total					
Promedio					
Espec. Teórico			6 - 7		4 - 5
Inspector de Calidad		Jefe de Aseguramiento de Calidad			

A.2 Evaluación N° de racimos/planta y N° bayas/racimos

Este formato es utilizado por el área de aseguramiento de la calidad para evaluar el raleo. Esta evaluación es realizada a 25 plantas dentro de un parrón. Los encargados deben poner primero la fecha en que se realizó la evaluación, el parrón, el jefe de campo a cargo de ese parrón, la variedad de uva, la superficie y el total de plantas del parrón.

Previo a la evaluación, los encargados de poda anotan en el soporte la cantidad de racimos que se han dejado en el ajuste de carga. Por lo tanto, los encargados de aseguramiento de calidad anotan el número puesto por los anteriores y luego cuentan la cantidad de racimos reales y se apunta la diferencia. Después, se anota la cantidad de racimos alados, semi-alados y atubados que posee la planta. Luego, se saca un promedio de las bayas que tiene cada tipo de racimo.

EVALUACIÓN N° DE RACIMOS/PLANTA Y N° BAYAS/ RACIMO									
Versión/ Fecha									
01/07-05-2019									
Rev: JUT Aprob: GLA									
FECHA:	PARRÓN:			N° PLANTAS:		JEFE DE CAMPO			
VARIEDAD:	SUPERFICIE:			TOTAL DE PLANTAS:					
N° MUESTRA	N° RACIMOS TEÓRICOS	N° RACIMOS REALES	DIFERENCIA	BAYAS POR RACIMO					
				N° RAC.ALADOS	N° BAYAS POR RACIMO ALADOS	N° RAC.SEMI-ALADOS	N° BAYAS POR RACIMO SEMI-ALADOS	N° RAC.ATUBADOS	N° BAYAS POR RACIMO ATUBADOS
1									
2									
3									
4									
5									

Se suman todas las columnas y se saca un promedio. Se compara el resultado con las especificaciones dadas por campo. Finalmente es firmado por el inspector de calidad y por el jefe de aseguramiento de calidad.


21									
22									
23									
24									
25									
PROMEDIO					85		75		65
ESPECIFICACIÓN TEÓRICA									
Inspector de calidad					VºBº JEFE DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD				

A.3 Pronóstico de categorías

Este formato es utilizado por el área de calidad para pronosticar la cantidad de uvas que habrá en cada categoría. El operario deberá primero registrar la fecha de evaluación y cuando se estima la cosecha, el número de parrón, la variedad y el peso neto de la fruta.

Luego se evalúan 3 cosas: la categoría, los pesos y los calibres. De la muestra, se registra cuántos kilos fueron de cada categoría y el porcentaje que esto representa, cuántos kilos estuvieron dentro de un rango de peso, y el porcentaje, y finalmente, cuántos kilos


fueron de cada calibre y su porcentaje. Si es que hay algún inconveniente, se especifica en las observaciones. Por último, es firmado por el inspector de aseguramiento de la calidad y por quién da el visto bueno. También se anota la fecha en la que el formato fue revisado.

		PRONÓSTICO CATEGORIAS GCA-F-						Versión / Fecha 01/ 22.05.2019	
								Rev: RCG	Aprob: GA
FECHA DE EVALUACIÓN:				FECHA DE COSECHA ESTIMADA					
INFORMACIÓN DEL PARRÓN									
INDICADORES	PARRÓN N°	PARRÓN N°	PARRÓN N°	PARRÓN N°	PARRÓN N°	PARRÓN N°	PARRÓN N°	PARRÓN N°	
Variedad									
Peso neto fruta									
CATEGORIAS %									
	Kg	%	Kg	%	Kg	%	Kg	%	
S									
N									
NN									
E									
Descarte									
PESOS %									
<150g									
150 a 250g									
250g a 900g									
>900g									
CALIBRES%									
L									
XL									
J									
JJ									
OBSERVACIONES:									
Inspector de A. de la Calidad			V°B° de Aseguramiento de la calidad			Fecha de Revisión			

A4. Muestreo Brix/ acidez en uva de mesa

Columna Brix: De 1 planta, se mide los grados Brix de dos racimos (de cada racimo se toma una baya de la parte superior, una de la intermedia y otra de la inferior) y luego estos se promedian. Si es que se ve mucha varianza entre las lecturas de los dos racimos, se mide otro más. Esto se hace para full color, over color y falta de color.

- Acidez: Para acidez, se utiliza un medidor Brix/acidez. El método de muestreo es el mismo.
- N° de racimos: Se cuenta la cantidad de racimos full color, over color y falta de color de 1 planta.
- Otros: Se escribe alguna observación o anomalía de la muestra.

		MUESTREO ° BRIX / ACIDEZ EN UVA DE MESA										GCA-F-		VERSIÓN / FECHA 01 / 24.05.2019		
														Rev:	RCG	Aprob: GA
FECHA		VARIEDAD														
Parron N°				Parron N°				Parron N°				Parron N°				
N° de Muestra	Brix	N° Rac	acidez	otros	Brix	N° Rac	acidez	otros	Brix	N° Rac	acidez	otros	Brix	N° Rac	acidez	otros
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																
11																

Después, se realiza un promedio de cada columna.

19																
20																
21																
22																
23																
24																
25																
Promedio																

Dentro de este formato hay una tabla, en donde se pone la frecuencia en la que se obtuvo una cierta medida de °Bx en el parrón y se pone también que porcentaje de la muestra representa

Anexo B: Código genérico en R (Ejemplo modelo 2019R)

```

data <- read.csv("/Users/jwongp/Desktop/ECOSAC/Var-2019R.csv",sep=",")

data$Parron <- factor(data$Parron)

#install.packages("nlme")

library(nlme)

#install.packages("car")

library(car)

library(ggplot2)

ggplot(data, aes(x = Tiempo, y = Brix, group=Parron, color = Parron)) +
  geom_line(alpha=.3) + labs(title="Brix para cada Parron") +
  theme(legend.position = "none")

fitmm <- lme(Brix ~ Tiempo+PR+Edad+Densidad+PTemp+Phum+
            PPToRoc+PTHSW+PESol+PDUV, random= ~ 1|Parron, data=data)

anova(fitmm)
summary(fitmm)
vif(fitmm)

fitmm1 <- lme(Brix ~ Tiempo+PR+Edad+Densidad+Phum+
            PPToRoc+PTHSW+PESol+PDUV, random= ~ 1|Parron, data=data)

vif(fitmm1)

fitmm2 <- lme(Brix ~ Tiempo+PR+Edad+Densidad+Phum+
            PPToRoc+PESol+PDUV, random= ~ 1|Parron, data=data)

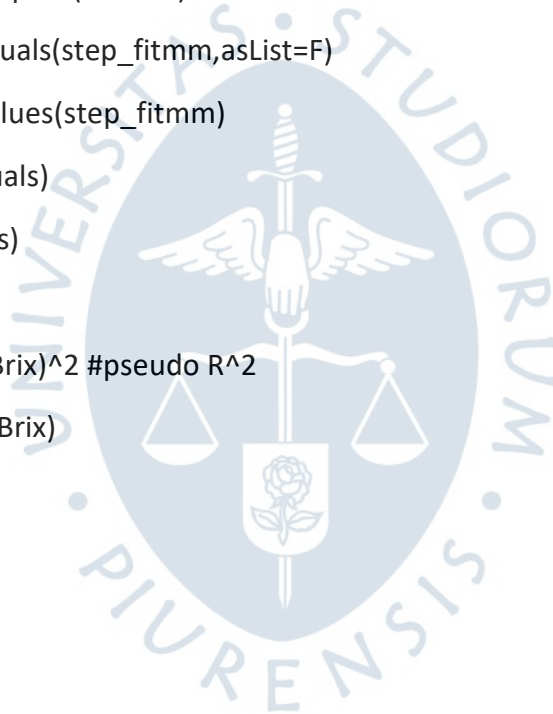
vif(fitmm2)

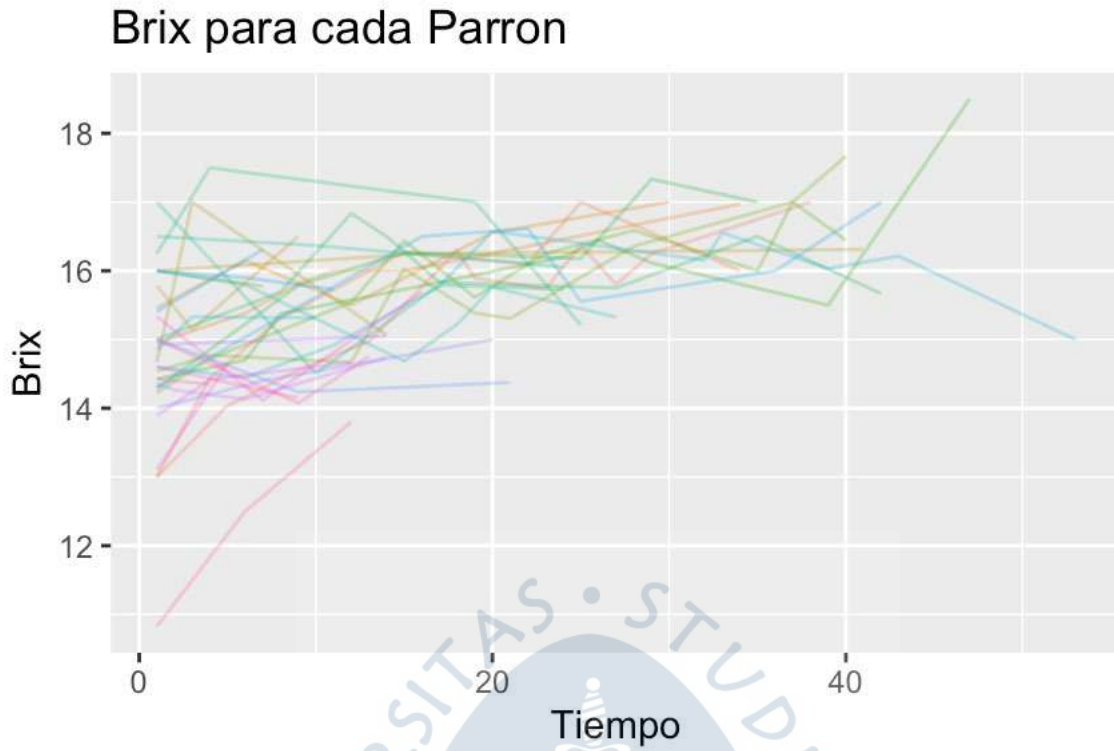
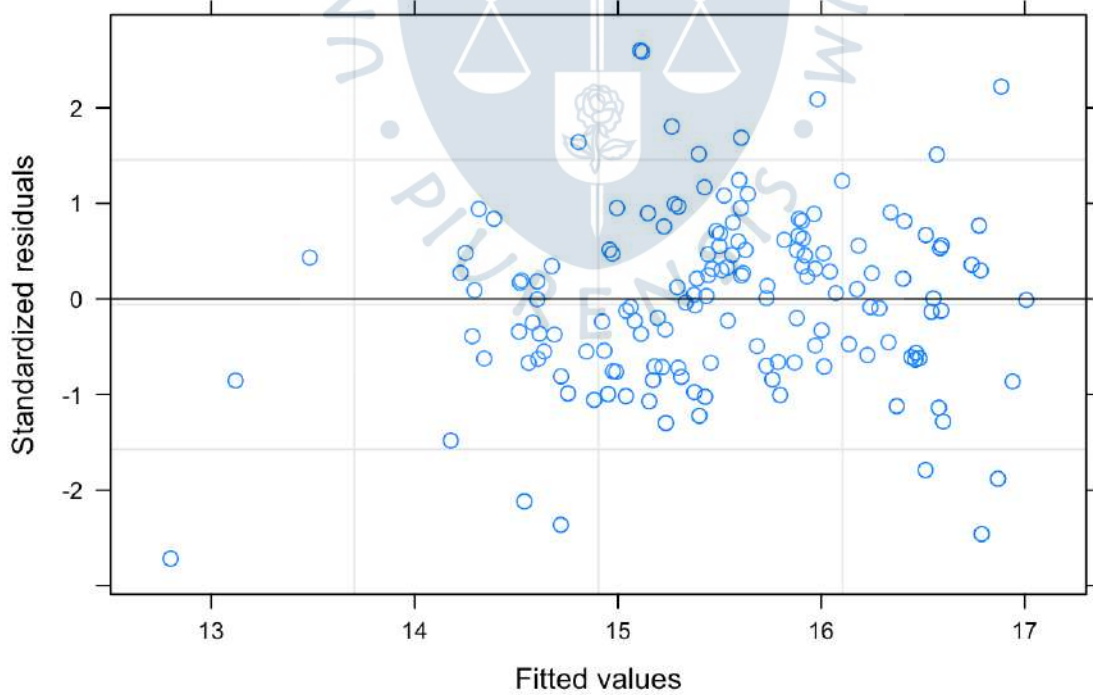
fitmm3 <- lme(Brix ~ Tiempo+PR+Edad+Densidad+Phum+
            PPToRoc+PESol, random= ~ 1|Parron, data=data)

vif(fitmm3)
anova(fitmm3)
plot(fitmm3)

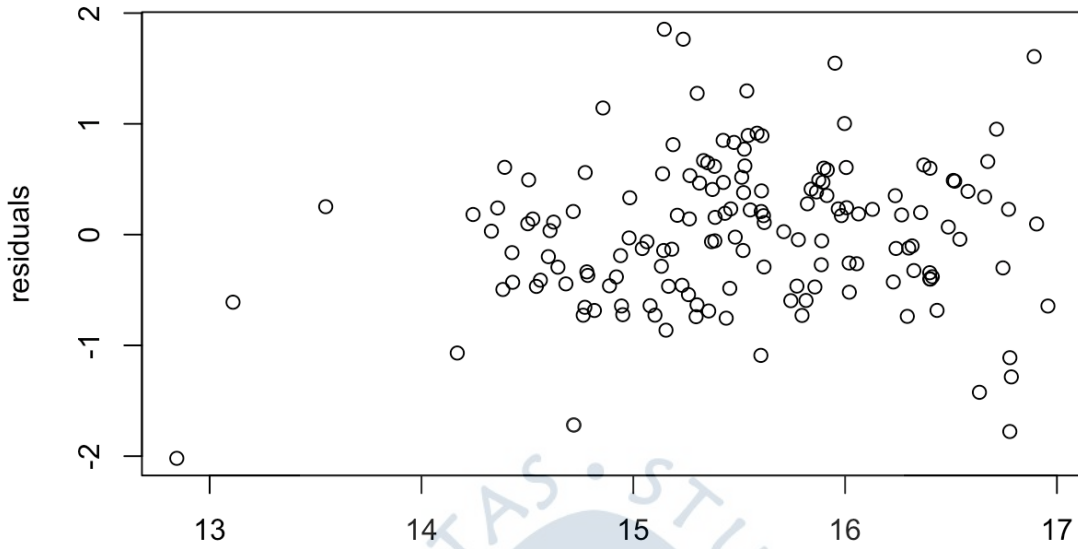
```

```
fitmm3_sum <- summary(fitmm3)
fitmm3_sum$AIC
fitmm4 <- lme(Brix ~ Tiempo+PR+Edad+Densidad+Phum+
  PPToRoc+PESol, random= ~ 1|Parron, data=data, method="ML")
library(MASS)
stepAIC(fitmm4)
summary(stepAIC(fitmm4))
step_fitmm <- stepAIC(fitmm4)
residuals <- residuals(step_fitmm,asList=F)
fitted <- fitted.values(step_fitmm)
plot(fitted,residuals)
qqnorm(residuals)
qqline(residuals)
cor(fitted,data$Brix)^2 #pseudo R^2
plot(fitted,data$Brix)
```



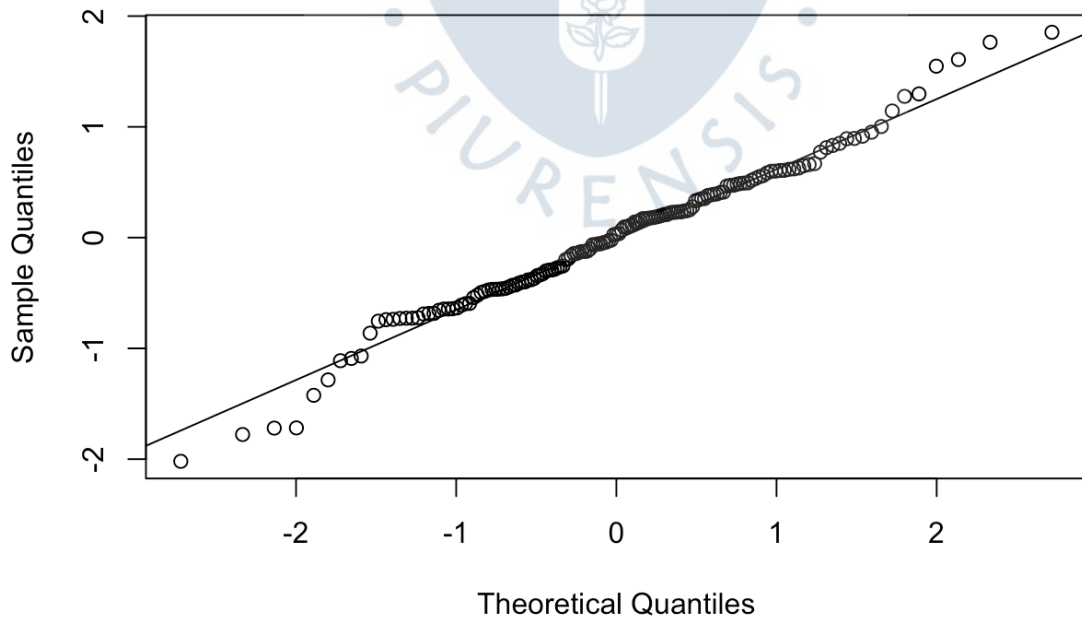
Anexo C: Gráficas obtenidas en R**C1: 20180****Evolución Brix vs. tiempo****Residuos estandarizados vs. valores ajustados**

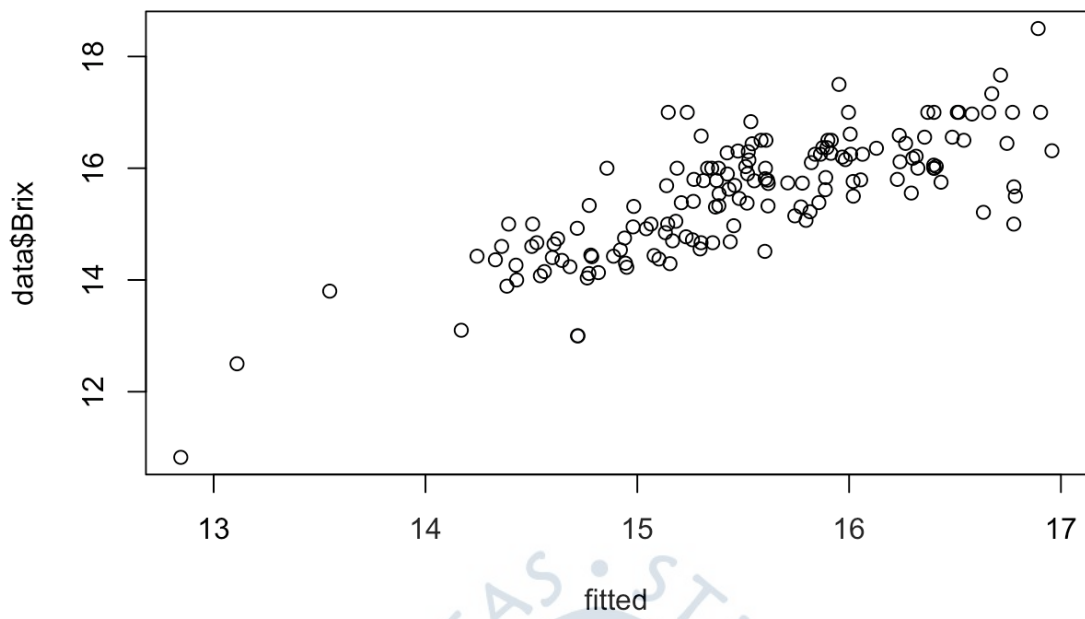
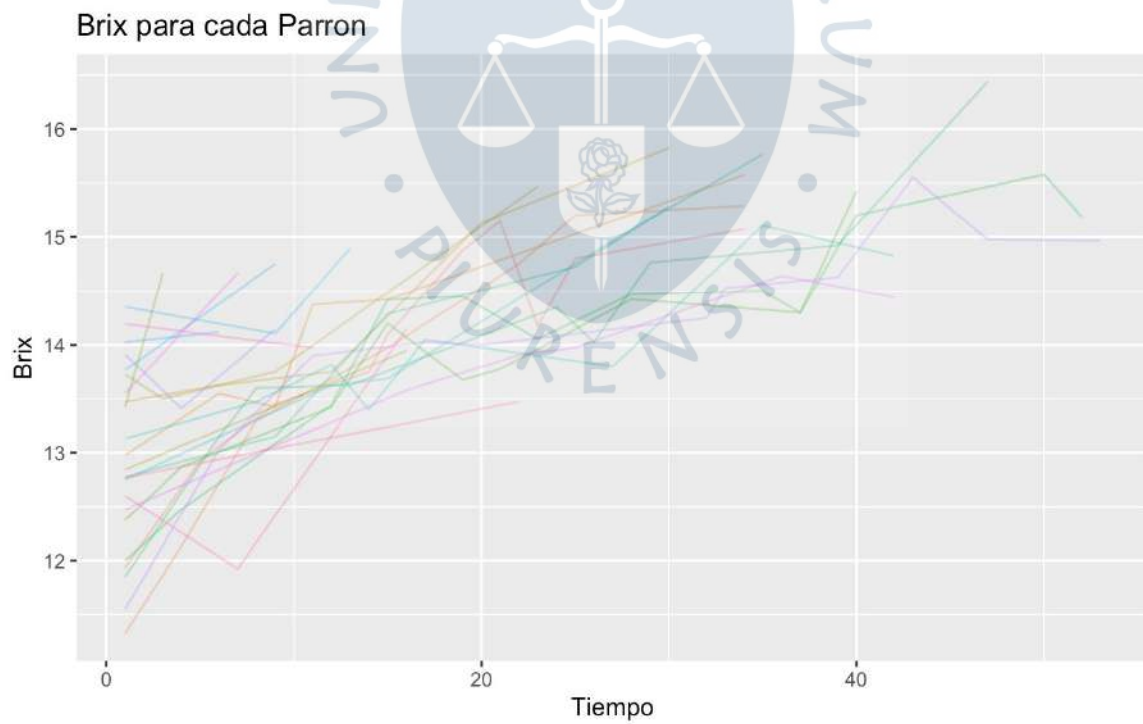
Residuos vs. ajustes

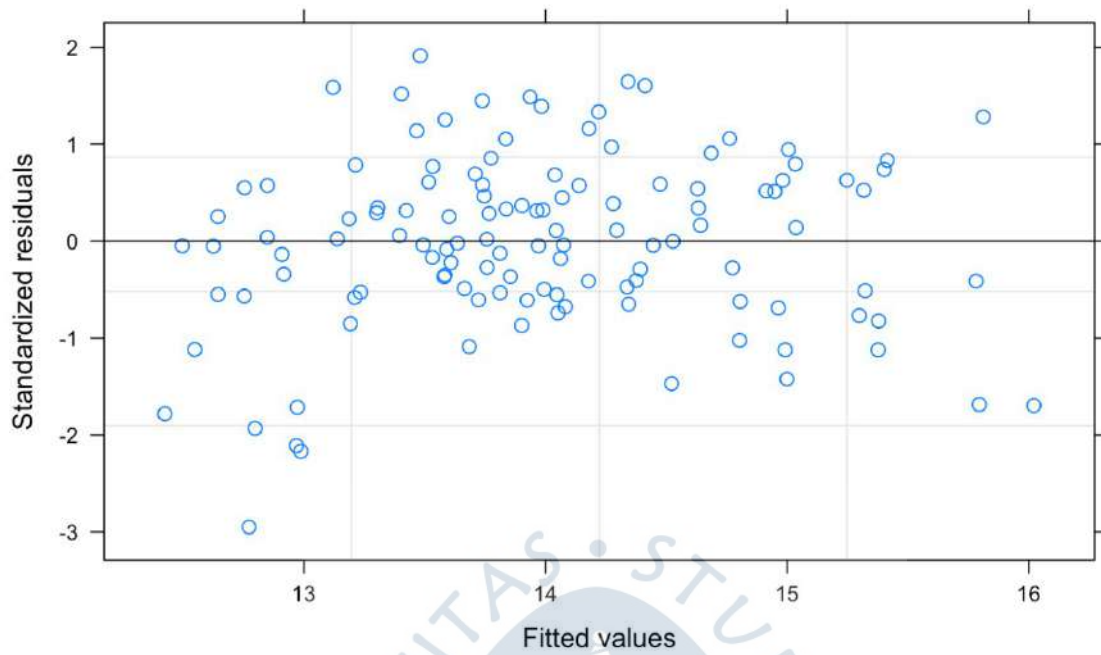
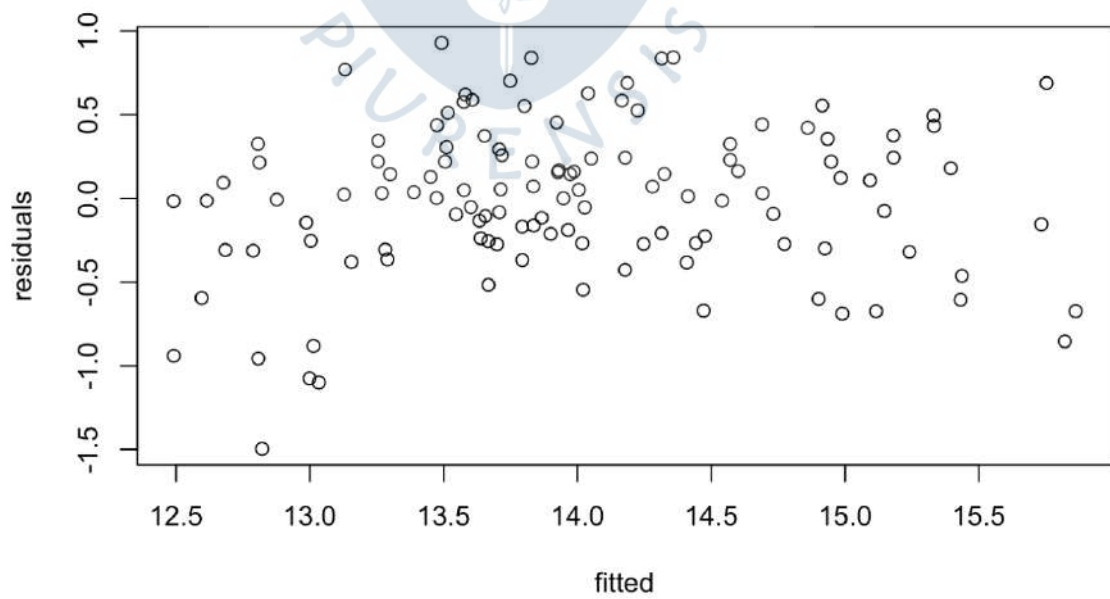


Probabilidad Normal

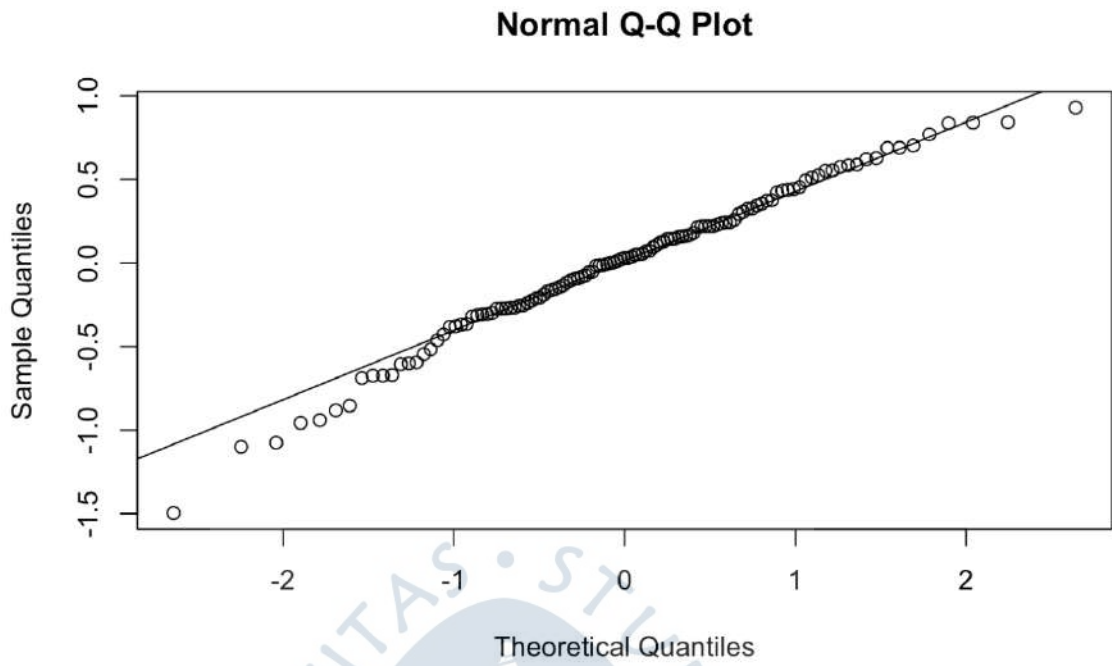
Normal Q-Q Plot



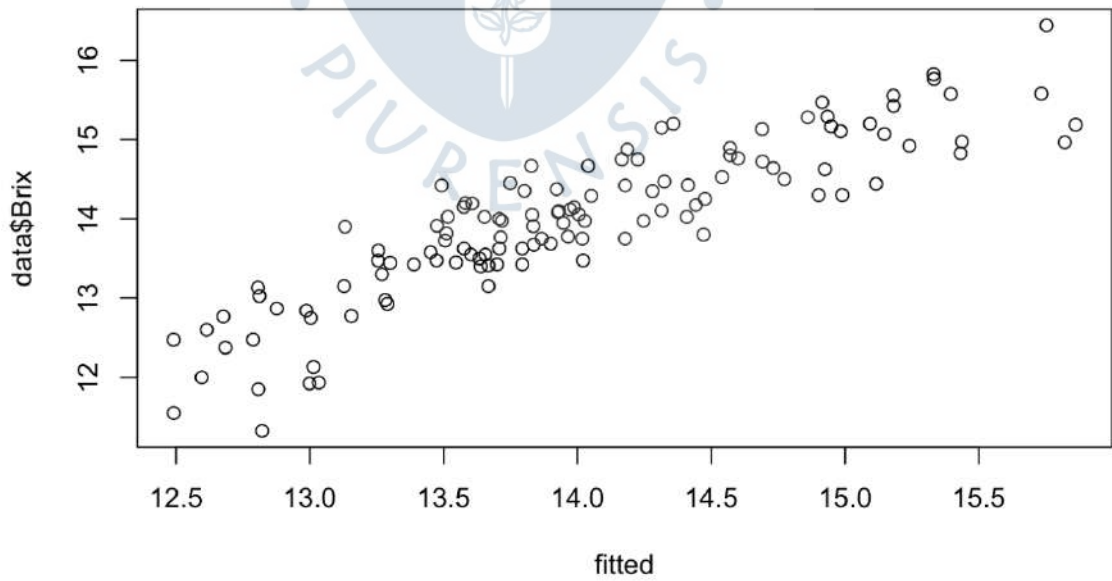
Gráfica de línea**C2: 2018R****Evolución Brix vs. tiempo**

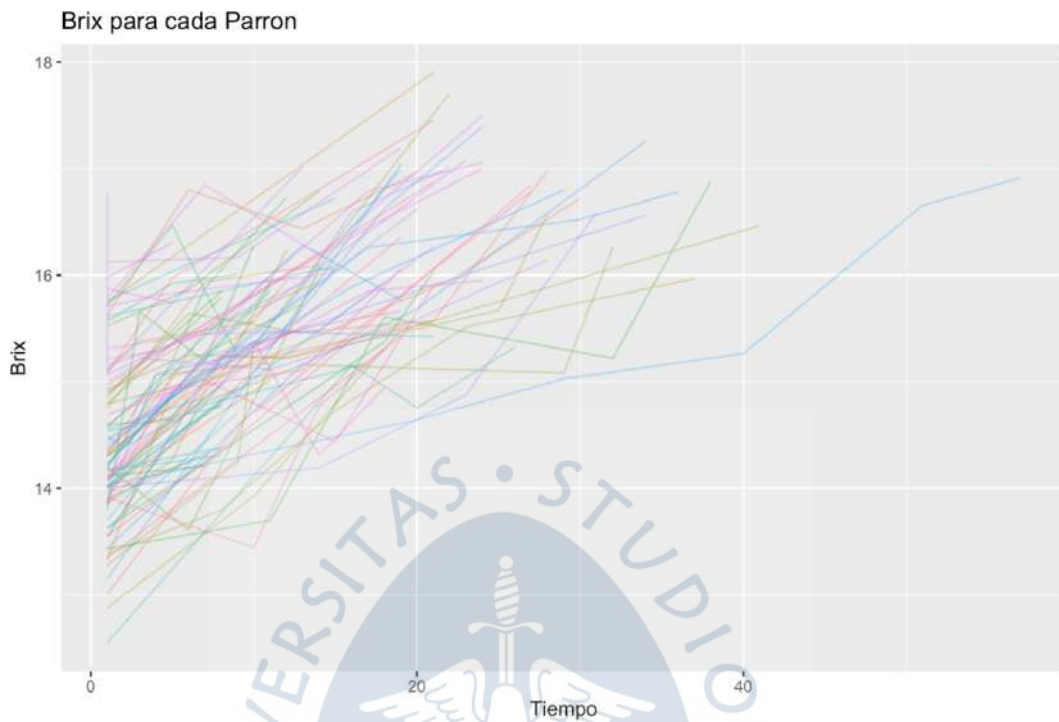
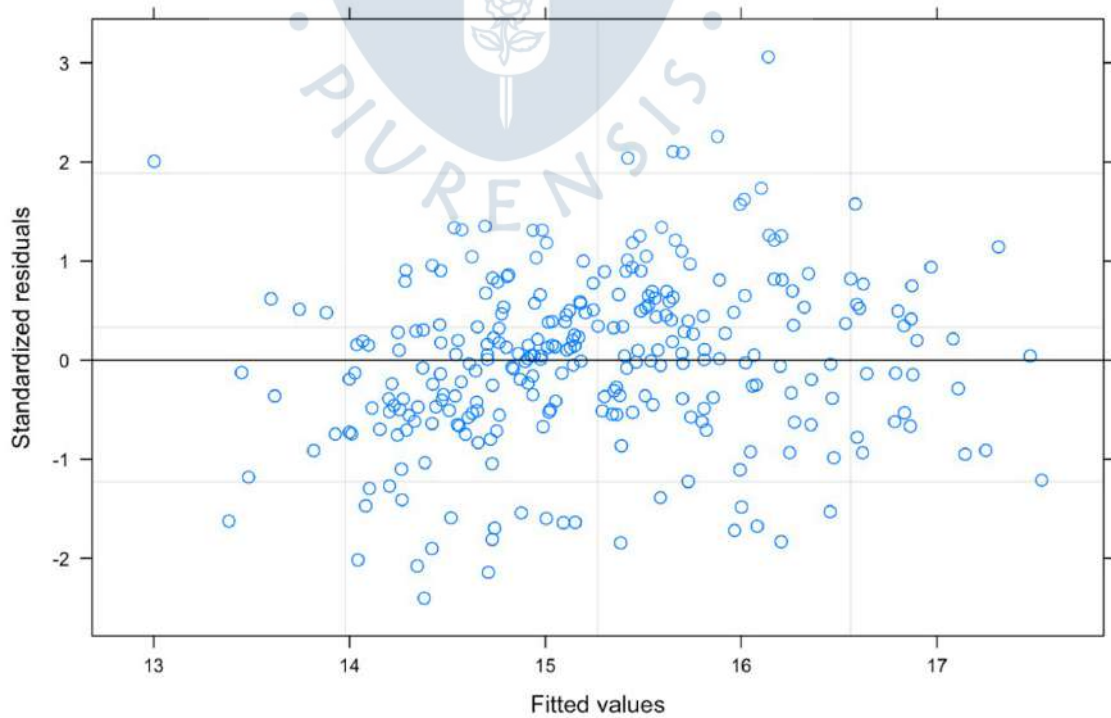
Residuos estandarizados vs. valores ajustados**Residuos vs. ajustes**

Probabilidad Normal

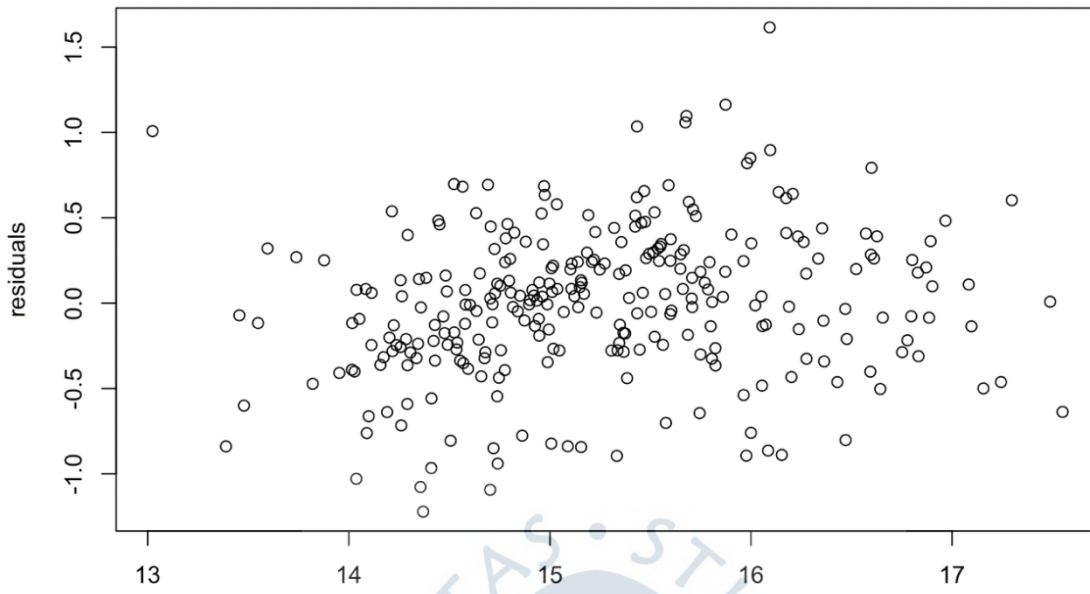


Gráfica de línea



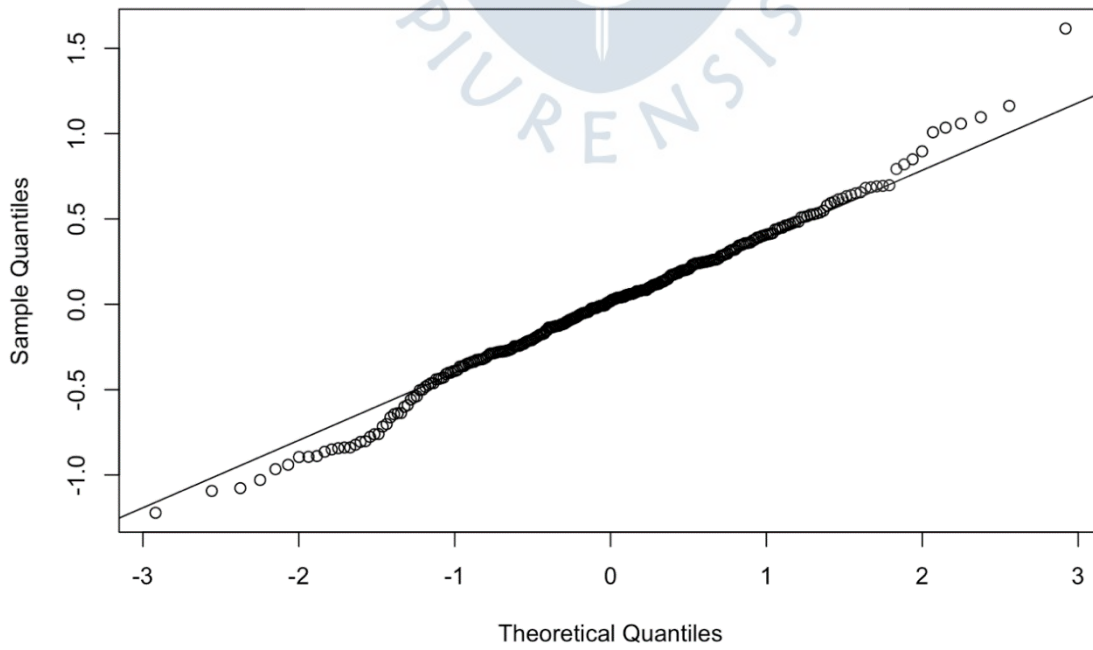
C3: 2019o**Evolución Brix vs. tiempo****Residuos estandarizados vs. valores ajustados**

Residuos vs. ajustes

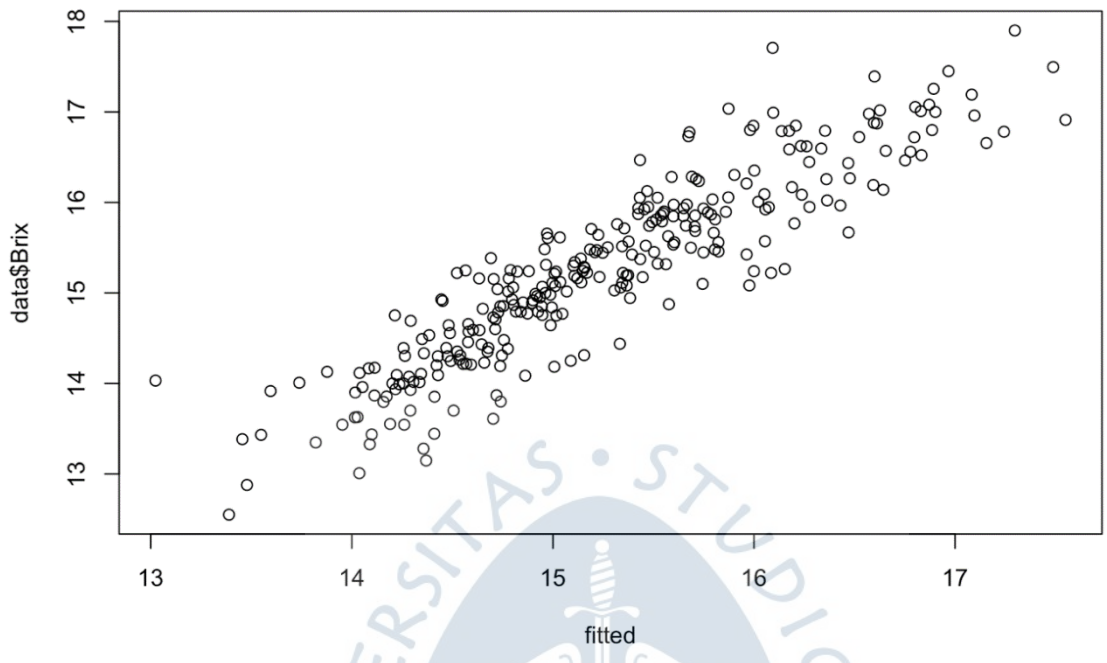


Probabilidad Normal

Normal Q-Q Plot

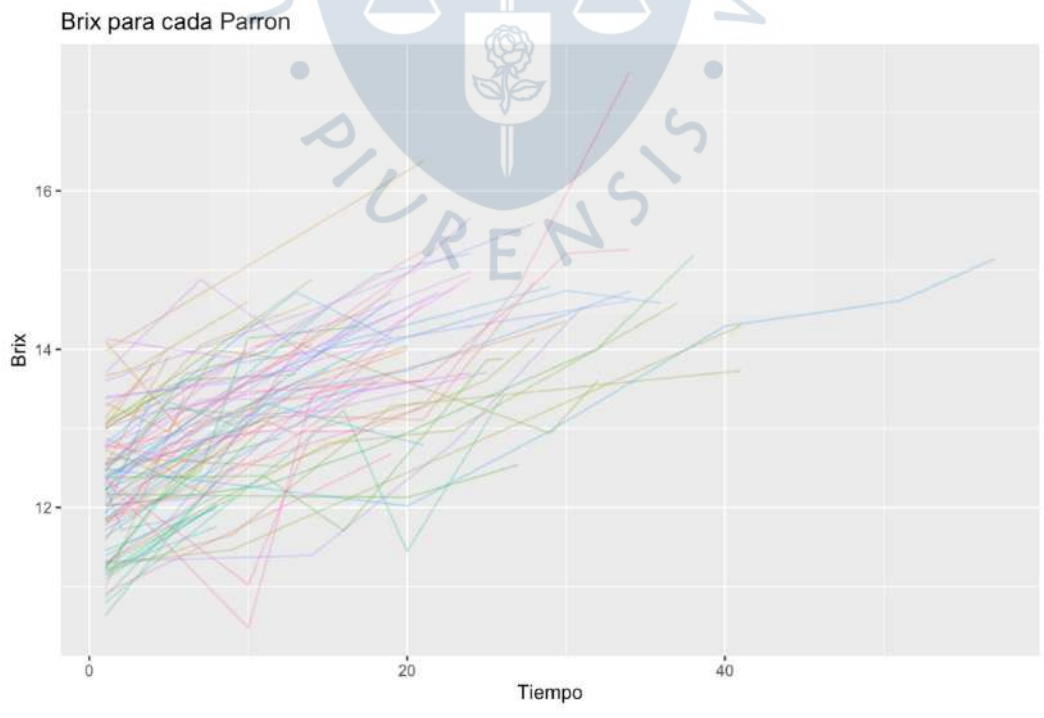


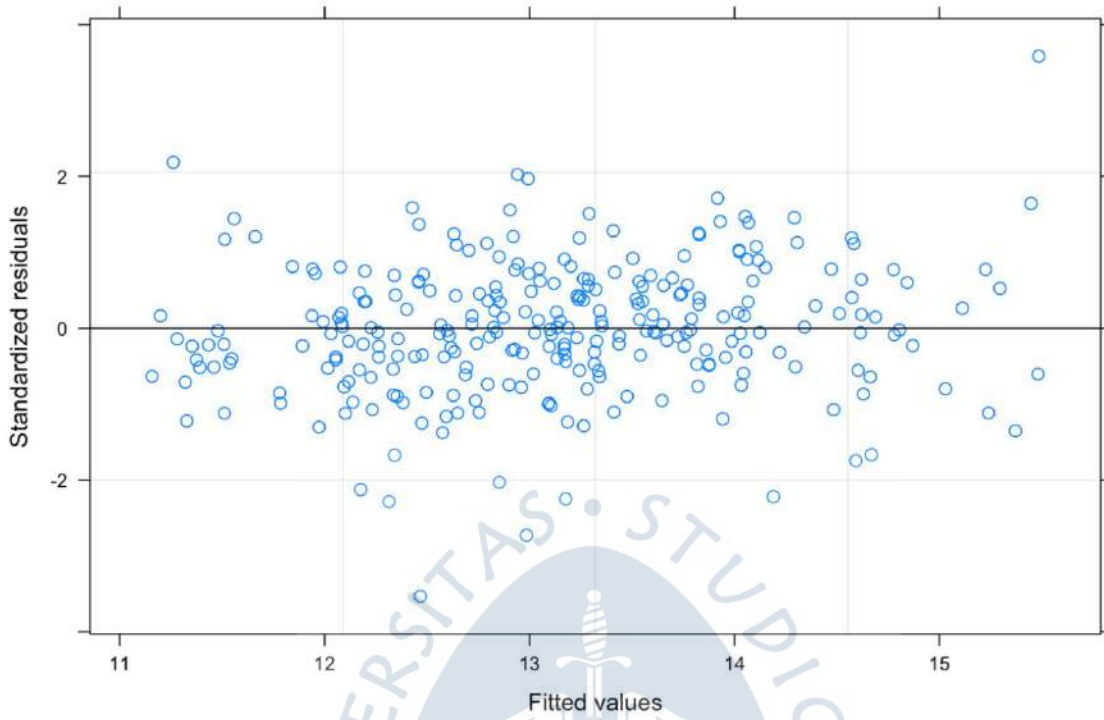
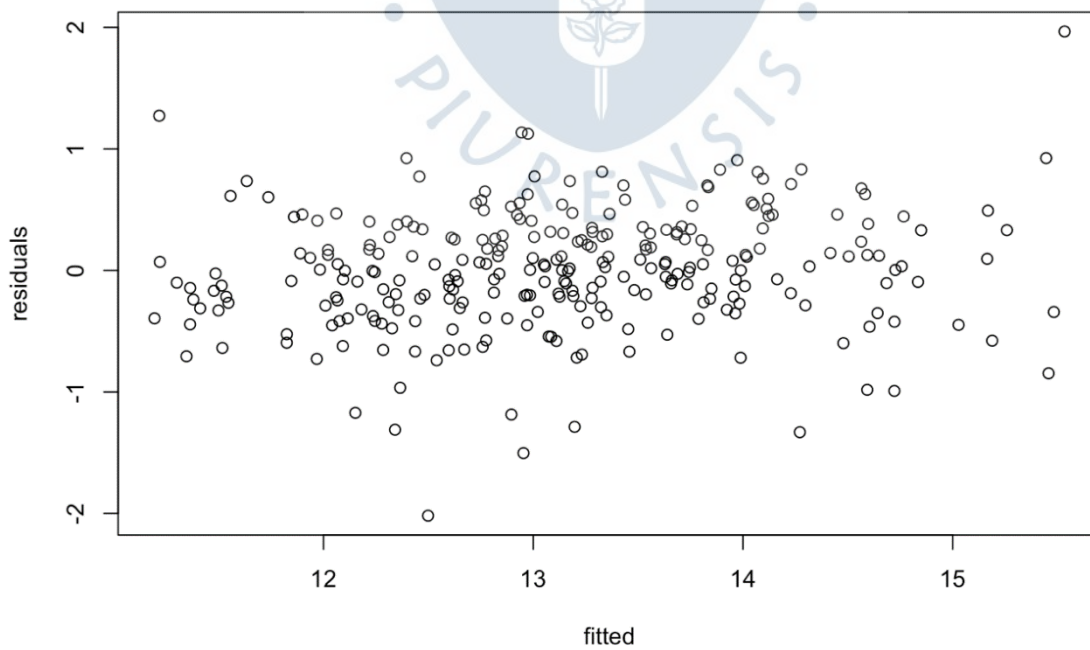
Gráfica de línea

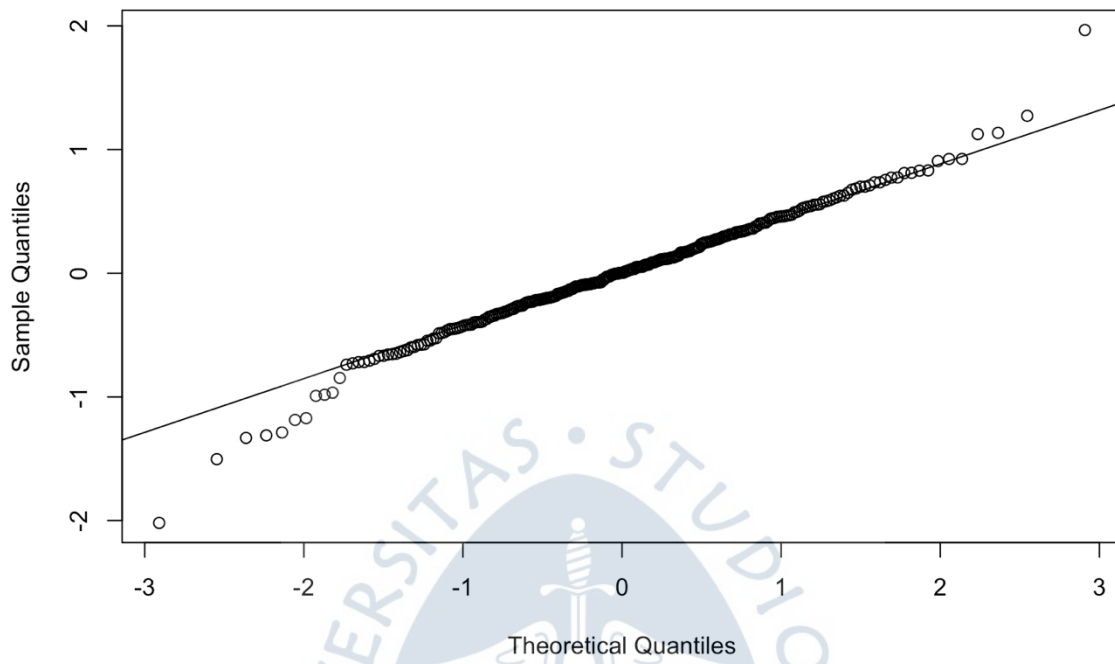


C3: 2019o

Evolución Brix vs. tiempo



Residuos estandarizados vs. valores ajustados**Residuos vs. ajustes**

Probabilidad Normal**Normal Q-Q Plot****Gráfica de línea**